

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2004年 2月24日  
Date of Application:

出願番号 特願2004-047756  
Application Number:

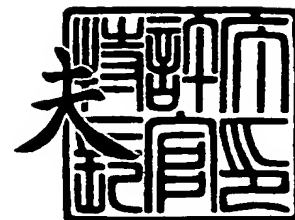
[ST. 10/C]: [JP 2004-047756]

出願人 アルプス電気株式会社  
Applicant(s):

2004年 3月17日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康



出証番号 出証特2004-3021509

【書類名】 特許願  
【整理番号】 P5379  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 G11B 5/39  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社内  
    【氏名】 西山 義弘  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社内  
    【氏名】 斎藤 正路  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社内  
    【氏名】 長谷川 直也  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社内  
    【氏名】 早川 康男  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社内  
    【氏名】 梅津 英治  
【発明者】  
    【住所又は居所】 東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号 アルプス電気株式会社内  
    【氏名】 井出 洋介  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000010098  
    【氏名又は名称】 アルプス電気株式会社  
【代理人】  
    【識別番号】 100083286  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 三浦 邦夫  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2003-114189  
    【出願日】 平成15年 4月18日  
【先の出願に基づく優先権主張】  
    【出願番号】 特願2003-195159  
    【出願日】 平成15年 7月10日  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 001971  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 0113245

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

所定のシールド間隔をあけて形成した下部シールド層と上部シールド層と、この上下のシールド層の間に位置し、非磁性材料層を挟んで積層した固定磁性層とフリー磁性層を有する巨大磁気抵抗効果素子とを備え、この巨大磁気抵抗効果素子の膜面に直交する方向に電流が流れる C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記巨大磁気抵抗素子よりもハイト方向奥側に、前記固定磁性層の磁化方向をハイト方向に固定する反強磁性層を設けたことを特徴とする C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

**【請求項 2】**

請求項 1 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は、前記固定磁性層のハイト方向奥側端面に接して該ハイト方向奥側端面との界面に交換結合磁界を生じさせ、この交換結合磁界により前記固定磁性層の磁化方向を固定する C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

**【請求項 3】**

請求項 1 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記固定磁性層の少なくとも一部は、前記巨大磁気抵抗効果素子よりもハイト方向奥側に長く延びて形成され、

前記反強磁性層は、前記ハイト方向奥側に延びた前記固定磁性層の上面又は下面に接触して該上面又は下面との界面に交換結合磁界を発生させ、この交換結合磁界により前記固定磁性層の磁化方向を固定する C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

**【請求項 4】**

請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記固定磁性層は、トラック幅方向の寸法よりもハイト方向の寸法が長く形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

**【請求項 5】**

請求項 1 ないし 4 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記固定磁性層は、磁歪定数が正の値をとる磁性材料により形成され、記録媒体との対向面側の端面が開放されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

**【請求項 6】**

請求項 3 ないし 5 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記固定磁性層は、非磁性中間層を挟んで積層された第 1 固定磁性層と第 2 固定磁性層を有する積層フェリ構造をなし、該第 2 固定磁性層の上に前記非磁性材料層及び前記フリー磁性層は形成されていて、

前記第 1 固定磁性層、前記非磁性中間層及び前記第 2 固定磁性層は、前記非磁性材料層及び前記フリー磁性層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成され、

前記反強磁性層は、前記ハイト方向奥側に延長させた第 2 固定磁性層の上面に接している C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

**【請求項 7】**

請求項 6 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層と前記第 1 固定磁性層の間、及び前記フリー磁性層と前記上部シールド層の間に、非磁性金属膜を介在させた C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

**【請求項 8】**

請求項 7 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記非磁性金属膜は、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Ir、Pd、Ni-Cr、(Ni-Fe)-Cr、Cr のうちいずれか 1 種又は 2 種以上を含む非磁性金属材料により形成されていて、さらに該非磁性金属材料中に Cr を含む場合は Cr 含有量が 20 原子%を超えている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

**【請求項 9】**

請求項 7 又は 8 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層と前記第 1 固定磁性層の間に介在する非磁性金属膜は、Ta/Cu、Ta/Ru/Cu、Ta/Cr、Ta/Ni-Cr、Ta/(Ni-Fe)-Cr 又は Cr のいずれかにより形

成されていて、さらに該非磁性金属膜中にCrを含む場合はCr含有量が20原子%を超えているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項10】

請求項6ないし9のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第2固定磁性層の一部又は全部が、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10原子%、Co>30原子%、Cu>5原子%）、Fe-Co-Cu-X（ただし、XはPt、Pd、Mn、Si、Au、Agのいずれか1種又は2種以上の元素である）、又はCo<sub>2</sub>MnY（ただし、YはGe、Si、Sn、Alのいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項11】

請求項6ないし10のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記フリー磁性層の一部又は全部が、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10原子%、Co>30原子%、Cu>5原子%）、Fe-Co-Cu-X（ただし、XはPt、Pd、Mn、Si、Au、Agのいずれか1種又は2種以上の元素である）、又はCo<sub>2</sub>MnY（ただし、YはGe、Si、Sn、Alのいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項12】

請求項6ないし11のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層と前記上部シールド層の間に、絶縁層を介在させたCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項13】

請求項1ないし11のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は絶縁反強磁性層であるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項14】

請求項6ないし12のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は、前記第2固定磁性層の上面に接する金属反強磁性層と、この金属反強磁性層の上に積層形成された絶縁反強磁性層とにより形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項15】

請求項13又は14記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記絶縁反強磁性層は、Ni-O又は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>により形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項16】

請求項14記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記金属反強磁性層は、Pt-Mn又はIr-Mnにより形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項17】

請求項3ないし5のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記固定磁性層は、非磁性中間層を挟んで積層された第1固定磁性層と第2固定磁性層を有する積層フェリ構造をなし、この第2固定磁性層の上に前記非磁性材料層及び前記フリー磁性層は形成されていて、

前記第1固定磁性層、前記非磁性中間層及び前記第2固定磁性層は、前記非磁性材料層及び前記フリー磁性層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成され、

前記反強磁性層は、前記ハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層の下面に接触しているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項18】

請求項17記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層上に非磁性金属膜を備え、この非磁性金属膜のハイト方向奥側の端部上に前記反強磁性層が形成されていて、前記第1固定磁性層は、前記反強磁性層から前記非磁性金属膜に跨って該反強磁性層上及び非磁性金属膜上に形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項19】



請求項 18 記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層上の非磁性金属膜は、 $Ta/Cu$ 、 $Ta/Ru/Cu$ 、 $Ta/Cr$ 、 $Ta/Ni-Cr$ 、 $Ta/(Ni-Fe)-Cr$  又は  $Cr$  のいずれかで形成され、該形成材料に  $Cr$  を含む場合は  $Cr$  含有量が 20 原子%を超えている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 20】

請求項 17 ないし 19 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記上部シールド層と前記フリー磁性層の間に、 $Au$ 、 $Ag$ 、 $Cu$ 、 $Ru$ 、 $Rh$ 、 $Ir$ 、 $Pd$ 、 $Ni-Cr$ 、 $(Ni-Fe)-Cr$ 、 $Cr$  のうちいずれか 1 種又は 2 種以上の元素を含む非磁性材料により形成され、該非磁性金属材料中に  $Cr$  を含む場合は  $Cr$  含有量が 20 原子%を超えている非磁性金属膜を介在させた CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 21】

請求項 17 ないし 20 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 2 固定磁性層の一部又は全部が、 $Fe-Co-Cu$  (ただし、 $Fe > 10$  原子%、 $Co > 30$  原子%、 $Cu > 5$  原子%)、 $Fe-Co-Cu-X$  (ただし、 $X$  は  $Pt$ 、 $Pd$ 、 $Mn$ 、 $Si$ 、 $Au$ 、 $Ag$  のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である)、又は  $Co_2MnY$  (ただし、 $Y$  は  $Ge$ 、 $Si$ 、 $Sn$ 、 $Al$  のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である) により形成されている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 22】

請求項 17 ないし 21 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記フリー磁性層の一部又は全部が、 $Fe-Co-Cu$  (ただし、 $Fe > 10$  原子%、 $Co > 30$  原子%、 $Cu > 5$  原子%)、 $Fe-Co-Cu-X$  (ただし、 $X$  は  $Pt$ 、 $Pd$ 、 $Mn$ 、 $Si$ 、 $Au$ 、 $Ag$  のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である)、又は  $Co_2MnY$  (ただし、 $Y$  は  $Ge$ 、 $Si$ 、 $Sn$ 、 $Al$  のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である) により形成されている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 23】

請求項 17 ないし 21 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、ハイト方向奥側に延長させた前記第 2 固定磁性層と前記上部シールド層の間に、絶縁層を介在させた CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 24】

請求項 17 ないし 23 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は絶縁反強磁性層である CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 25】

請求項 24 記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記絶縁反強磁性層は、 $Ni-O$  又は  $\alpha-Fe_2O_3$  により形成されている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 26】

請求項 17 載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層の直下位置に、ハイト方向奥側で前記第 1 固定磁性層と前記反強磁性層との間に介在する磁歪増強層が形成され、この磁歪増強層は、前記反強磁性層と同じ組成で該反強磁性層よりも薄く形成された不規則結晶構造をなし、前記第 1 固定磁性層との界面に不整合歪を生じさせる CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 27】

請求項 26 記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層と前記磁歪増強層は、 $Z-Mn$  合金 (ただし  $Z$  は、 $Pt$ 、 $Pd$ 、 $Ir$ 、 $Rh$ 、 $Ru$ 、 $Os$ 、 $Ni$ 、 $Fe$  のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である) により形成されている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 28】

請求項 27 記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層内の結晶と前記磁歪増強層内の結晶は、エピタキシャル又はヘテロエピタキシャルな状態である CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 29】

請求項 28 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記磁歪増強層は、少なくとも前記第 1 固定磁性層側の界面付近において面心立方構造をとり、前記界面と平行な方向に、 $\{111\}$  面として表される等価な結晶面が優先配向している C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 30】

請求項 28 又は 29 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記磁歪増強層の膜厚は 5 Å 以上 50 Å 以下である C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 31】

請求項 28 ないし 30 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層及び前記磁歪増強層を形成する Z-Mn 合金中の Z 元素の含有量は、40 原子%以上 95 元素%以下である C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 32】

請求項 28 ないし 31 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層は、少なくとも前記磁歪増強層側の界面付近で面心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{111\}$  面として表される等価な結晶面が優先配向している C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 33】

請求項 32 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層は、Co 又は  $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ ) からなる C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 34】

請求項 28 ないし 31 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層は、少なくとも前記磁歪増強層側の界面付近で体心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{110\}$  面として表される等価な結晶面が優先配向している C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 35】

請求項 34 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層は、 $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ ) からなる C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 36】

請求項 28 ないし 31 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層は、前記磁歪増強層側の界面付近で面心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{111\}$  面として表される等価な結晶面が優先配向しており、前記非磁性中間層側の界面付近で体心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{110\}$  面として表される等価な結晶面が優先配向している C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 37】

請求項 36 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層は、前記磁歪増強層側の界面付近の組成が Co 又は  $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ ) であり、前記非磁性中間層側の界面付近の組成が  $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ ) である C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 38】

請求項 37 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層は、前記非磁性金属層側の界面から前記非磁性中間層側の界面に向かうにつれて Fe 濃度が大きくなる C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 39】

請求項 26 ないし 38 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層と前記磁歪増強層及び前記反強磁性層との間、及び前記フリー磁性層と前記上部シールド層との間に、非磁性金属膜を介在させた C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 40】

請求項 39 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記非磁性金属膜は、Au

、Ag、Cu、Ru、Rh、Ir、Pd、Ni-Cr、(Ni-Fe)-Cr、Crのうちいずれか1種又は2種以上の元素を含む非磁性金属材料により形成され、該非磁性金属材料中にCrを含む場合はCr含有率が20原子%を超えているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項41】

請求項40記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層と前記磁歪増強層及び前記反強磁性層との間に介在する非磁性金属膜は、Ta/Cu、Ta/Ru/Cu、Ta/Cr、Ta/Ni-Cr、Ta/(Ni-Fe)-Cr又はCrのいずれかで形成され、該形成材料にCrを含む場合はCr含有量が20原子%を超えているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項42】

請求項26ないし41のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、ハイト方向奥側に延長させた前記第2固定磁性層と前記上部シールド層の間に絶縁層を介在させたCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項43】

請求項26ないし42のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第2固定磁性層の一部又は全部が、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10原子%、Co>30原子%、Cu>5原子%）、Fe-Co-Cu-X（ただし、XはPt、Pd、Mn、Si、Au、Agのいずれか1種又は2種以上の元素である）、又はCo<sub>2</sub>MnY（ただし、YはGe、Si、Sn、Alのいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項44】

請求項26ないし43のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記フリー磁性層の一部又は全部が、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10原子%、Co>30原子%、Cu>5原子%）、Fe-Co-Cu-X（ただし、XはPt、Pd、Mn、Si、Au、Agのいずれか1種又は2種以上の元素である）、又はCo<sub>2</sub>MnY（ただし、YはGe、Si、Sn、Alのいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項45】

請求項26ないし44のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は絶縁反強磁性層であるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項46】

請求項45記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記絶縁反強磁性層は、Ni-O又は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>により形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項47】

請求項3ないし5のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記固定磁性層は、非磁性中間層を挟んで積層された第1固定磁性層と第2固定磁性層を有する積層フェリ構造をなし、該第2固定磁性層の下に前記非磁性材料層及び前記フリー磁性層が形成されていて、

前記第1固定磁性層は、前記フリー磁性層、前記非磁性材料層、前記第2固定磁性層及び前記非磁性中間層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成され、

前記反強磁性層は、前記ハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層の上面に接触しているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項48】

請求項47記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層と前記フリー磁性層の間、及び前記第1固定磁性層と前記上部シールド層の間に、非磁性金属膜を介在させたCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項49】

請求項48記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記非磁性金属膜は、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Ir、PdNi-Cr、(Ni-Fe)-Cr、Crのうち

いずれか1種又は2種以上の元素を含む非磁性金属材料により形成され、該非磁性金属材料中にCrを含む場合はCr含有量が20原子%を超えているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項50】

請求項48又は49記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第1固定磁性層と前記上部シールド層の間に介在する非磁性金属膜は、前記反強磁性層の上面を覆う第1上部非磁性金属膜と、この第1上部非磁性金属膜及び前記第1固定磁性層の上に形成された第2上部非磁性金属膜とを備え、前記第1上部非磁性金属膜はCrにより形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項51】

請求項48ないし50のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層と前記フリー磁性層の間に介在する非磁性金属膜は、Ta/Cu、Ta/Ru/Cu、Ta/Cr、Ta/Ni-Cr、Ta/(Ni-Fe)-Cr又はCrのいずれかで形成され、該形成材料にCrを含む場合はCr含有量が20原子%を超えているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項52】

請求項47ないし51のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第2固定磁性層の一部又は全部が、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10原子%、Co>30原子%、Cu>5原子%）、Fe-Co-Cu-X（ただし、XはPt、Pd、Mn、Si、Au、Agのいずれか1種又は2種以上の元素である）、又はCo<sub>2</sub>MnY（ただし、YはGe、Si、Sn、Alのいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項53】

請求項47ないし52のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記フリー磁性層の一部又は全部が、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10原子%、Co>30原子%、Cu>5原子%）、Fe-Co-Cu-X（ただし、XはPt、Pd、Mn、Si、Au、Agのいずれか1種又は2種以上の元素である）、又はCo<sub>2</sub>MnY（ただし、YはGe、Si、Sn、Alのいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項54】

請求項47ないし53のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記フリー磁性層、前記非磁性材料層、前記第2固定磁性層及び前記非磁性中間層のハイト方向奥側であって前記第1固定磁性層の下に、絶縁層を備えたCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項55】

請求項47ないし54のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は絶縁反強磁性層であるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項56】

請求項47ないし54のいずれか一項に記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は、前記第1固定磁性層に接する金属反強磁性層と、この金属反強磁性層の上に積層形成された絶縁反強磁性層とにより形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項57】

請求項55又は56記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記絶縁反強磁性層は、Ni-O又は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>により形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項58】

請求項56記載のCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記金属反強磁性層は、Pt-Mn又はIr-Mnにより形成されているCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項59】

請求項 3 ないし 5 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記固定磁性層は、非磁性中間層を挟んで積層された第 1 固定磁性層と第 2 固定磁性層を有する積層フェリ構造をなし、該第 2 固定磁性層の下に前記非磁性材料層及び前記フリー磁性層が形成されていて、

前記第 2 固定磁性層、前記非磁性中間層及び前記第 1 固定磁性層は、前記非磁性材料層及び前記フリー磁性層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成され、

前記反強磁性層は、前記ハイト方向奥側に延長させた第 1 固定磁性層の上面に接触している CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 60】

請求項 59 記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記非磁性材料層と前記第 2 固定磁性層との間に、酸化しづらい非磁性材料で形成された酸化防止層を備えた CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 61】

請求項 60 記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記酸化防止層は、5 Å 以上 10 Å 以下の膜厚で形成されている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 62】

請求項 59 ないし 61 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層と前記フリー磁性層の間、及び前記第 1 固定磁性層と前記上部シールド層の間に、非磁性金属膜を介在させた CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 63】

請求項 62 記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記非磁性金属膜は、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Ir、Pd、Ni-Cr、(Ni-Fe)-Cr、Cr のうちいずれか 1 種又は 2 種以上の元素を含む非磁性金属材料により形成され、該非磁性金属材料中に Cr を含む場合は Cr 含有量が 20 原子%を超えている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 64】

請求項 62 又は 63 記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 固定磁性層と前記上部シールド層の間に介在する非磁性金属膜は、前記反強磁性層の上面を覆う第 1 上部非磁性金属膜と、この第 1 上部非磁性金属膜及び前記第 1 固定磁性層の上に形成された第 2 上部非磁性金属膜を備え、前記第 1 上部非磁性金属膜は Cr により形成されている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 65】

請求項 62 ないし 64 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部シールド層と前記フリー磁性層の間に介在する非磁性金属膜は、Ta/Cu、Ta/Ru/Cu、Ta/Cr、Ta/Ni-Cr、Ta/(Ni-Fe)-Cr 又は Cr のいずれかで形成され、該形成材料に Cr を含む場合は Cr 含有量が 20 原子%を超えている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 66】

請求項 59 ないし 65 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 2 固定磁性層の一部又は全部が、Fe-Co-Cu (ただし、Fe > 10 原子%、Co > 30 原子%、Cu > 5 原子%)、Fe-Co-Cu-X (ただし、X は Pt、Pd、Mn、Si、Au、Ag のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である)、又は Co<sub>2</sub>MnY (ただし、Y は Ge、Si、Sn、Al のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である) により形成されている CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 67】

請求項 59 ないし 66 のいずれか一項に記載の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記フリー磁性層の一部又は全部が、Fe-Co-Cu (ただし、Fe > 10 原子%、Co > 30 原子%、Cu > 5 原子%)、Fe-Co-Cu-X (ただし、X は Pt、Pd、Mn、Si、Au、Ag のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である)、又は Co<sub>2</sub>MnY (ただし、Y は Ge、Si、Sn、Al のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である) に

より形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 68】

請求項 59 ないし 67 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記フリー磁性層及び前記非磁性材料層のハイト方向奥側であって前記第 2 固定磁性層の下に、絶縁層を備えた C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 69】

請求項 59 ないし 68 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は絶縁反強磁性層である C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 70】

請求項 59 ないし 68 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は、第 1 固定磁性層に接する金属反強磁性層と、この金属反強磁性層の上に積層形成された絶縁反強磁性層とにより形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 71】

請求項 69 又は 70 に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記絶縁反強磁性層は、Ni-O 又は  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> により形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 72】

請求項 70 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記金属反強磁性層は、Pt-Mn 又は Ir-Mn により形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 73】

請求項 3 ないし 5 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記固定磁性層は、非磁性中間層を挟んで積層された第 1 固定磁性層と第 2 固定磁性層を有する積層フェリ構造をなし、該第 2 固定磁性層の下に前記非磁性材料層及び前記フリー磁性層は形成されていて、

前記第 1 固定磁性層、前記非磁性中間層及び前記第 2 固定磁性層は、前記非磁性材料層及び前記フリー磁性層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成され、

前記反強磁性層は、絶縁反強磁性層であり、前記ハイト方向奥側に延長させた第 2 固定磁性層の下面に接している C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 74】

請求項 73 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記絶縁反強磁性層は、Ni-O 又は  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> により形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 75】

所定のシールド間隔をあけて形成した下部シールド層と上部シールド層と、この上下のシールド層の間に下部固定磁性層、下部非磁性材料層、フリー磁性層、上部非磁性材料層及び上部固定磁性層を順に積層して形成したデュアルスピンバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子とを備え、この巨大磁気抵抗効果素子の膜面に直交する方向に電流が流れる C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、

前記巨大磁気抵抗効果素子よりもハイト方向奥側に、前記下部固定磁性層と前記上部固定磁性層の磁化方向をハイト方向に固定する反強磁性層を備えたことを特徴とする C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 76】

請求項 75 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部固定磁性層と前記上部固定磁性層は、前記フリー磁性層、前記下部非磁性材料層及び前記上部非磁性材料層よりもハイト方向奥側に延びて形成され、

前記反強磁性層は、前記ハイト方向奥側に延びた前記下部固定磁性層の上面と前記上部固定磁性層の下面の界面にそれぞれ交換結合磁界を発生させ、この交換結合磁界により前記下部固定磁性層及び前記上部固定磁性層の磁化方向を固定する C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 77】

請求項 75 又は 76 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は、絶縁反強磁性層である C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 78】

請求項 75 又は 76 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記反強磁性層は、前記下部固定磁性層に接する金属反強磁性層と、前記上部固定磁性層に接する絶縁反強磁性層とを積層して形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 79】

請求項 77 又は 78 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記絶縁反強磁性層は、Ni-O 又は  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> により形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 80】

請求項 78 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記金属反強磁性層は、Pt-Mn 又は Ir-Mn により形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 81】

請求項 75 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記下部固定磁性層と前記上部固定磁性層は、前記フリー磁性層、前記下部非磁性材料層及び前記上部非磁性材料層よりもハイト方向奥側に延びて形成され、

前記反強磁性層は、前記下部固定磁性層の下面との界面に生じさせた交換結合磁界により前記下部固定磁性層の磁化方向をハイト方向に固定する第 1 反強磁性層と、前記上部固定磁性層の下面との界面に生じさせた交換結合磁界により前記上部固定磁性層の磁化方向をハイト方向に固定する第 2 反強磁性層とにより形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 82】

請求項 81 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 2 反強磁性層は絶縁反強磁性層である C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 83】

請求項 82 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記絶縁反強磁性層は、Ni-O 又は  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> により形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 84】

請求項 81 ないし 83 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記第 1 反強磁性層は金属反強磁性層である C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 85】

請求項 84 記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記金属反強磁性層は、Pt-Mn 又は Ir-Mn により形成されている C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。

【請求項 86】

請求項 3 ないし 85 のいずれか一項に記載の C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、前記非磁性材料層は Cu 層であり、前記非磁性中間層は Ru 層である C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッド。



## 【書類名】明細書

【発明の名称】C P P型巨大磁気抵抗効果ヘッド

## 【技術分野】

【0001】

本発明は、膜厚方向（膜面に直交する方向）にセンス電流が流れるC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドに関する。

## 【背景技術】

【0002】

ハードディスク装置や磁気センサなどに用いられる巨大磁気抵抗効果（GMR）素子は、素子を構成する各層の膜面に対して平行な方向にセンス電流が流れるC I P（Current In the Plane）型と、素子を構成する各層の膜面に対して垂直な方向にセンス電流が流れるC P P（Current Perpendicular to the Plane）型とに大別することができる。

【0003】

図55は、従来のC P P-GMR素子を用いたC P P-GMRヘッドの構造を示す縦断面図である。C P P-GMRヘッド100は、図示X方向に長く延びて形成された下部シールド層110、下部シールド層110の図示X方向の中央部に形成された下部非磁性金属膜120、この下部非磁性金属膜120上に積層形成されたフリー磁性層131、非磁性金属材料層132、固定磁性層133、反強磁性層134及び上部非磁性金属膜140、この上部非磁性金属膜140の上に図示X方向に長く延びて形成された上部シールド層150、フリー磁性層131の一部及び非磁性材料層132の両側部に接して形成されたハードバイアス層163、及びハードバイアス層163と下部シールド層110及び上部シールド層150との間を埋める絶縁膜161、164を有している。なお、ハードバイアス層163と絶縁層161の間にはバイアス下地層162が備えられている。

【0004】

【特許文献1】特開2000-123325号公報

【特許文献2】特開2001-266313号公報

【特許文献3】特開2001-307307号公報

【特許文献4】特開2002-232040号公報

【特許文献5】特開2002-305338号公報

【特許文献6】特開2002-319112号公報

【特許文献7】米国特許第6023395号

【特許文献8】米国特許第6052263号

【特許文献9】米国特許第6259586B1号

【特許文献10】米国特許第6330136B1号

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記構成のC P P-GMRヘッドでは、例えばP t-M nにより形成される反強磁性層134にもセンス電流が流れる。反強磁性層134は、比抵抗が約 $200\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 程度であり、非磁性金属膜120、140やフリー磁性層131、固定磁性層133に比して非常に大きい。また反強磁性層134は、反強磁性特性を保持するために厚く形成する必要がある、例えば上下のシールド層間隔が $600\text{\AA}$ 程度であるとき、反強磁性層134の膜厚は $200\text{\AA}$ 程度とされる。このように比抵抗の大きい反強磁性層134が厚く設けられていると、反強磁性層134の抵抗が大きく、センス電流が流れることによって反強磁性層134が発熱する。この発熱（ジュール熱）により、ヘッド全体の温度が高くなるため、ヘッドの信頼性や高周波特性を悪化させている。また反強磁性層134が厚いと、上下のシールド間隔を狭くすることが難しく、高記録密度化に不利になっている。

【0006】

そこで、最近では、反強磁性層134を素子部から省くことが提案されている。しかしながら、反強磁性層134を用いなくて固定磁性層133の磁化を安定させるためには、



固定磁性層 133 の形成材料の制約が大きくなり、単位面積あたりの磁気抵抗変化量  $\Delta R \cdot A$  を向上させることが難しくなってしまう。また反強磁性層 134 を用いないで固定磁性層 133 の磁化を安定させると、固定磁性層 133 の磁化固定が弱く、センス電流を流したときに発生するセンス電流磁界の向きと固定磁性層 133 の磁気モーメントの向きが異なっている場合に、センス電流磁界によって固定磁性層 133 の磁化方向がゆらいでしまう問題もあった。

【0007】

なお、CIP-GMRヘッドでは、センス電流が反強磁性層には1割程度しか流れず、シールド層には全く流れないため、上述のような問題は生じていない。

【0008】

本発明は、ジュール熱を低減しつつ固定磁性層の磁化を強固に固定でき、狭再生シールド間隔化による高記録密度化を推進し、さらに単位面積あたりの磁気抵抗変化量  $\Delta R \cdot A$  及びセンス電流を増大させて高出力が得られるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドを得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、固定磁性層の磁化を固定するための反強磁性層をセンス電流経路外に設ければ、センス電流を流しても反強磁性層が発熱せず、ジュール熱を低減できること、固定磁性層と反強磁性層の接触面積が広ければ固定磁性層の磁化を強固に固定できること、及び絶縁反強磁性層を用いればセンス電流のロスをより低減できることに着目したものである。

【0010】

すなわち、本発明は、所定のシールド間隔をあけて形成した下部シールド層と上部シールド層と、この上下のシールド層の間に位置し、非磁性材料層を挟んで積層した固定磁性層とフリー磁性層を有する巨大磁気抵抗効果素子とを備え、この巨大磁気抵抗効果素子の膜面に直交する方向に電流が流れるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、巨大磁気抵抗素子よりもハイト方向奥側に、固定磁性層の磁化方向をハイト方向に固定する反強磁性層を設けたことを特徴としている。

【0011】

反強磁性層は、固定磁性層のハイト方向奥側端面、あるいは、固定磁性層のハイト方向奥側の上面又は下面に接触させて設けることが好ましい。

【0012】

固定磁性層のハイト方向奥側端面に接触させて備えた反強磁性層は、該ハイト方向奥側端面との界面に交換結合磁界を生じさせ、この交換結合磁界により固定磁性層の磁化方向を固定する。

【0013】

固定磁性層のハイト方向奥側の上面又は下面に接触させて反強磁性層を備える場合は、固定磁性層の少なくとも一部を、巨大磁気抵抗効果素子よりもハイト方向奥側に長く延びて形成する。この場合に反強磁性層は、ハイト方向奥側に延びた固定磁性層の上面又は下面との界面に交換結合磁界を発生させ、この交換結合磁界により固定磁性層の磁化方向を固定する。この態様によれば、固定磁性層のハイト方向奥側端面に接触させて反強磁性層を備える場合よりも、固定磁性層と反強磁性層との接触面積が増大するので、より大きな交換結合磁界により固定磁性層の磁化を固定することができる。

【0014】

固定磁性層は、トラック幅方向の寸法よりもハイト方向の寸法が長く形成されていることが好ましい。このように固定磁性層がトラック幅方向よりもハイト方向に長く形成されていれば、ハイト方向に平行な方向に形状異方性が生じ、この形状異方性によっても、固定磁性層の磁化固定を強化することができる。

【0015】

また固定磁性層は、磁歪定数が正の値をとる磁性材料により形成され、記録媒体との対

向面側の端面が開放されていることが好ましい。この場合、固定磁性層に対して二次元的に且つ等方的に加わっていた応力の対称性が崩れることから、固定磁性層にはハイト方向に平行な方向に一軸性の引張り応力が加えられる。この逆磁歪効果により、固定磁性層の磁化方向はハイト方向に平行な一軸方向で安定化する。

#### 【0016】

固定磁性層は、非磁性中間層を挟んで積層された第1固定磁性層と第2固定磁性層を有する積層フェリ構造で形成することができる。巨大磁気抵抗効果素子を構成する非磁性材料層及びフリー磁性層は、第2固定磁性層の上に形成されていても、第2固定磁性層の下に形成されていてもよい。

#### 【0017】

固定磁性層と反強磁性層の具体的な接触態様としては、例えば、第1～第6の態様が挙げられる。ここで、第1～第3の態様は第2固定磁性層の上に非磁性材料層及びフリー磁性層を形成した場合であり、第4～第6の態様は第2固定磁性層の下に非磁性材料層及びフリー磁性層を形成した場合である。

#### 【0018】

第1の態様では、第2固定磁性層の上に非磁性材料層及びフリー磁性層が形成されたタイプであって、第1固定磁性層、非磁性中間層及び第2固定磁性層を非磁性材料層及びフリー磁性層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成し、このハイト方向奥側に延長させた第2固定磁性層上に、反強磁性層を形成する。このように反強磁性層が第2固定磁性層の上面で接触していれば、第2固定磁性層のハイト方向奥側の端面で接触する場合よりも、第2固定磁性層と反強磁性層の接触面積（交換結合磁界が生じる面積範囲）を広く確保でき、安定且つ強固に固定磁性層の磁化を固定することができる。

#### 【0019】

下部シールド層と第1固定磁性層の間、及びフリー磁性層と上部シールド層の間には、下部シールド層及び上部シールド層におけるセンス電流の集中を緩やかにするため、非磁性金属膜を介在させることが好ましい。この非磁性金属膜は、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Ir、Pd、Ni-Cr、(Ni-Fe)-Cr、Crのうちいずれか1種又は2種以上の元素を含む非磁性金属材料により形成することができる。特に、下部シールド層と第1固定磁性層の間に介在する非磁性金属膜は、第1固定磁性層を含む磁気抵抗効果素子のシード層として機能させるべく、Ta/Cu、Ta/Ru/Cu、Ta/Cr、Ta/Ni-Cr、Ta/(Ni-Fe)-Cr又はCrのいずれかで形成されていることが好ましい。この非磁性金属膜のシード効果によっても、第1固定磁性層の磁化固定は安定化される。ただし、非磁性金属膜を形成する非磁性金属材料中にCrが含まれている場合は、そのCr含有量が20原子%を超えていることが好ましい。

#### 【0020】

反強磁性層と上部シールド層の間には、絶縁層を介在させることが实际的である。これにより、反強磁性層にはほとんどセンス電流が流れず、分流ロスが軽減されて再生出力の向上を図ることができる。上記絶縁層を介在させる替わりに、反強磁性層として絶縁反強磁性層を用いることができる。あるいは、反強磁性層として、第2固定磁性層の上面に接する金属反強磁性層とこの金属反強磁性層の上に積層形成された絶縁反強磁性層とを用いることができる。固定磁性層と絶縁反強磁性層との間に金属反強磁性層を介在させることにより、固定磁性層と絶縁反強磁性層が良好に結合してより大きな交換結合磁界を得ることができる。絶縁反強磁性層は例えばNi-O又は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>により形成され、金属反強磁性層は例えばPt-Mn又はIr-Mnにより形成される。

#### 【0021】

第2の態様では、第2固定磁性層上に非磁性材料層及びフリー磁性層が形成されたタイプであって、第1固定磁性層、非磁性中間層及び第2固定磁性層を非磁性材料層及びフリー磁性層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成し、このハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層の下面に、反強磁性層を接触させる。この態様によっても、第1固定磁性層と反強磁性層の接触面積（交換結合磁界が生じる面積範囲）を広く確保でき、安定且つ

強固に固定磁性層の磁化を固定することができる。

#### 【0022】

下部シールド層上には、センス電流の集中を緩和するため、非磁性金属膜を備えることが好ましい。この非磁性金属膜を備える場合、反強磁性層は非磁性金属膜のハイト方向奥側の端部上に形成され、第1固定磁性層は、反強磁性層から非磁性金属膜に跨って該反強磁性層上及び非磁性金属膜上に形成されることが实际的である。下部シールド層上に備えられた非磁性金属膜は、第1固定磁性層を含む磁気抵抗効果素子のシード層としても機能するように、 $Ta/Cu$ 、 $Ta/Ru/Cu$ 、 $Ta/Cr$ 、 $Ta/Ni-Cr$ 、 $Ta/(Ni-Fe)-Cr$ 又は $Cr$ のいずれかで形成されていることが好ましい。上部シールド層と前記フリー磁性層の間にも、センス電流の集中を緩和するため、 $Au$ 、 $Ag$ 、 $Cu$ 、 $Ru$ 、 $Rh$ 、 $Ir$ 、 $Pd$ 、 $Ni-Cr$ 、 $(Ni-Fe)-Cr$ 、 $Cr$ のうちいずれか1種又は2種以上の元素を含む非磁性金属材料により形成された非磁性金属膜を介在させることができる。ただし、非磁性金属膜を形成する非磁性金属材料中に $Cr$ が含まれている場合は、その $Cr$ 含有量が20原子%を超えていることが好ましい。

#### 【0023】

ハイト方向奥側に延長させた第2固定磁性層と上部シールド層の間には、絶縁層を介在させることが实际的である。

#### 【0024】

反強磁性層は、センス電流ロスをなくすため、絶縁反強磁性層であることが好ましい。この絶縁反強磁性層は、 $Ni-O$ 又は $\alpha-Fe_2O_3$ により形成することができる。

#### 【0025】

第3の態様では、上述した第2の態様において、さらに、第1固定磁性層の直下位置に、ハイト方向奥側で該第1固定磁性層と反強磁性層との間に介在する磁歪増強層を形成する。磁歪増強層は、反強磁性層と同じ組成で該反強磁性層よりも薄く形成された不規則結晶構造をなし、第1固定磁性層との界面で不整合歪を生じさせることが好ましい。この磁歪増強層と第1固定磁性層の間の界面で該磁歪増強層及び第1固定磁性層の結晶構造に歪みが生じると、第1固定磁性層の磁歪が増大され、逆磁歪効果によって第1固定磁性層及び固定磁性層の磁化固定がより強化される。

#### 【0026】

反強磁性層と磁歪増強層は、 $Z-Mn$ 合金（ただし $Z$ は、 $Pt$ 、 $Pd$ 、 $Ir$ 、 $Rh$ 、 $Ru$ 、 $Os$ 、 $Ni$ 、 $Fe$ のいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成されていることが好ましい。

#### 【0027】

磁歪増強層及び第1固定磁性層の結晶構造に歪みを生じさせるには、第1固定磁性層内の結晶と磁歪増強層の結晶がエピタキシャル又はヘテロエピタキシャルな状態であることが好ましい。

#### 【0028】

磁歪増強層は、上記 $Z-Mn$ 合金により形成されると、少なくとも第1固定磁性層側の界面付近において面心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向する。

#### 【0029】

磁歪増強層の膜厚は、5 Å以上50 Å以下であることが好ましい。この膜厚範囲内であれば、上記 $Z-Mn$ 合金からなる磁歪増強層の結晶構造は成膜時の状態である面心立方構造（fcc）を維持し続ける。磁歪増強層の膜厚が50 Åを超えると、約250℃以上の熱が加わったときに磁歪増強層の結晶構造が、反強磁性特性を発揮するCuAuI型の規則型の面心正方構造（fct）に構造変態してしまう。ただし、磁歪増強層の膜厚が50 Åより大きくても、約250℃以上の熱が加わらなければ、磁歪増強層の結晶構造は、成膜時の状態である面心立方構造（fcc）を維持し続ける。

#### 【0030】

反強磁性層及び磁歪増強層を形成する $Z-Mn$ 合金中の $Z$ 元素の含有量は、40原子%

以上95原子%以下であることが好ましい。この範囲内であれば、第1固定磁性層の磁歪定数が正で大きな値をとり、第1固定磁性層の磁化がより安定化する。

#### 【0031】

第1固定磁性層は、少なくとも磁歪増強層側の界面付近で面心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向していることが好ましい。この場合、上述したように磁歪増強層が面心立方構造(fcc)をとり、第1固定磁性層との界面に平行な方向に $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向しているので、第1固定磁性層を構成する原子と磁歪増強層を構成する原子が互いに重なり合いやすくなる。すなわち、エピタキシャルな状態で接合する。しかし、第1固定磁性層の $\{111\}$ 面内の最近接原子間距離と磁歪増強層の $\{111\}$ 面内の最近接原子間距離には一定以上の差が生じるため、第1固定磁性層と磁歪増強層の界面付近では、第1固定磁性層を構成する原子と磁歪増強層を構成する原子が互いに重なり合いつつも、それぞれの結晶構造に歪みが生じる。これにより、第1固定磁性層の磁歪は増大する。

#### 【0032】

第1固定磁性層は、 $\text{Co}$ 又は $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ )によって形成されると、面心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向する。

#### 【0033】

また第1固定磁性層は、少なくとも磁歪増強層側の界面付近で体心立方構造(bcc)をとり、該界面と平行な方向に、 $\{110\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向していてもよい。この場合、第1固定磁性層を構成する原子と磁歪増強層を構成する原子は、互いに重なり合いやすくなり、ヘテロエピタキシャルな状態で接合する。また第1固定磁性層の $\{110\}$ 面内の最近接原子間距離と磁歪増強層の $\{111\}$ 面内の最近接原子間距離には一定以上の差が生じるため、第1固定磁性層と磁歪増強層の界面付近では、第1固定磁性層及び磁歪増強層のそれぞれの結晶構造に歪みが生じる。すなわち、第1固定磁性層の磁歪が増大する。

#### 【0034】

第1固定磁性層は、 $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ )によって形成されると、体心立方構造(bcc)をとり、磁歪増強層側の界面と平行な方向に、 $\{110\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向する。なお、体心立方構造をとる $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ )は、面心立方構造をとる $\text{Co}$ 又は $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ )より、特に $y=50$ 附近の組成で磁歪定数が大きいので、より大きな逆磁歪効果を発揮することができる。また体心立方構造をとる $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ )は、保磁力が大きく、第1固定磁性層の磁化固定をより強固にすることができる。

#### 【0035】

さらに第1固定磁性層は、磁歪増強層側の界面付近で面心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向しており、非磁性中間層側の界面付近で体心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{110\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向していてもよい。このように非磁性中間層側の界面を体心立方構造にすると、第1固定磁性層の磁歪が増大し、大きな逆磁歪効果を発揮させることができる。一方、磁歪増強層側の界面を面心立方構造にすると、固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層の結晶配向性が一定になり、単位面積当たりの磁気抵抗変化量 $\Delta R \cdot A$ を高くすることができる。

#### 【0036】

第1固定磁性層は、磁歪増強層側の界面付近の組成を $\text{Co}$ 又は $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ )とし、非磁性中間層側の界面付近の組成を $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ )として形成されると、磁歪増強層側の界面付近において、面心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向すると共に、非磁性中間層側の界面付近において、体心立方構造をとり、該界面と平行な方向に、 $\{110\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向する。また非磁性中間層側の界面

付近の組成を  $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ ) であると、非磁性中間層を介した第1固定磁性層と第2固定磁性層との間の RKKY 的相互作用が強くなるので好ましい。第1固定磁性層は、磁歪増強層側の界面から非磁性中間層側の界面に向かうにつれて Fe 濃度が大きくなるものであってもよい。

#### 【0037】

以上の第3の態様でも、下部シールド層と第1固定磁性層の間、及びフリー磁性層と上部シールド層の間には、非磁性金属膜を介在させることができる。非磁性金属膜は、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Ir、Pd、Ni-Cr、(Ni-Fe)-Cr、Cr のうちいずれか1種又は2種以上の元素を含む非磁性金属材料により形成されていることが好ましく、特に下部シールド層と第1固定磁性層の間に介在する非磁性金属膜は、第1固定磁性層を含む磁気抵抗効果素子のシード層として機能させるべく、Ta/Cu、Ta/Ru/Cu、Ta/Cr、Ta/Ni-Cr、Ta/(Ni-Fe)-Cr 又は Cr により形成されていることが好ましい。ただし、非磁性金属膜を形成する非磁性金属中に Cr が含まれている場合は、その Cr 含有量が20原子%を超えていることが好ましい。

#### 【0038】

ハイト方向奥側に延長させた第2固定磁性層と上部シールド層の間には、絶縁層を介在させることが实际的である。

#### 【0039】

反強磁性層は、センス電流ロスをなくすため、絶縁反強磁性層であることが好ましい。この絶縁反強磁性層は、Ni-O 又は  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  により形成することができる。

#### 【0040】

第4の態様では、第2固定磁性層の下に非磁性材料層及びフリー磁性層が形成されたタイプであって、第1固定磁性層を、フリー磁性層、非磁性材料層、前記第2固定磁性層及び非磁性中間層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成し、このハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層の上面に、反強磁性層を接触させる。このように反強磁性層が第1固定磁性層の上面で接触していれば、第1固定磁性層と反強磁性層の接触面積（交換結合磁界が生じる面積範囲）を広く確保でき、安定且つ強固に固定磁性層の磁化を固定することができる。

#### 【0041】

下部シールド層とフリー磁性層の間、及び第1固定磁性層と上部シールド層の間には、非磁性金属膜を介在させることが好ましい。この非磁性金属膜は、Au、Ag、Cu、Ru、Rh、Ir、Pd、Ni-Cr、(Ni-Fe)-Cr、Cr のうちいずれか1種又は2種以上の元素を含む非磁性金属材料により形成することができる。下部シールド層とフリー磁性層の間に介在する非磁性金属膜は、第1固定磁性層を含む磁気抵抗効果素子のシード層としても機能するように、Ta/Cu、Ta/Ru/Cu、Ta/Cr、Ta/Ni-Cr、Ta/(Ni-Fe)-Cr 又は Cr により形成されていることが好ましい。ただし、非磁性金属膜を形成する非磁性金属材料中に Cr が含まれている場合は、その Cr 含有量が20原子%を超えていることが好ましい。

#### 【0042】

第1固定磁性層と上部シールド層の間に介在する非磁性金属膜は、反強磁性層の上面を覆う第1上部非磁性金属膜と、この第1上部非磁性金属膜及び第1固定磁性層の上に形成された第2上部非磁性金属膜とを備えていてもよい。第1上部非磁性金属膜は、反強磁性層を形成する際に行なう RIE（反応性イオンエッチング）工程のストッパとして機能させるため、Cr により形成されていることが实际的である。

#### 【0043】

フリー磁性層、非磁性材料層、第2固定磁性層及び非磁性中間層のハイト方向奥側であって第1固定磁性層の下には、絶縁層を備えることが实际的である。

#### 【0044】

反強磁性層は、絶縁反強磁性層であるか、又は、第1固定磁性層に接する金属反強磁性層とこの金属反強磁性層の上に積層形成された絶縁反強磁性層であることが好ましい。固

定磁性層と絶縁反強磁性層との間に金属反強磁性層を介在させることにより、より大きな交換結合磁界を得ることができる。絶縁反強磁性層は例えば  $\text{Ni-O}$  又は  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  により形成され、金属反強磁性層は  $\text{Pt-Mn}$  又は  $\text{Ir-Mn}$  により形成される。

#### 【0045】

第5の態様は、第2固定磁性層の下に非磁性材料層及びフリー磁性層が形成されたタイプであって、第2固定磁性層、非磁性中間層及び第1固定磁性層を、非磁性材料層及びフリー磁性層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成し、このハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層の上面に、反強磁性層を接触させる。このように反強磁性層が第1固定磁性層の上面で接触していれば、第1固定磁性層と反強磁性層の接触面積（交換結合磁界が生じる面積範囲）を広く確保でき、安定且つ強固に固定磁性層の磁化を固定することができる。また、第1固定磁性層のみでなく、固定磁性層全体がハイト方向奥側に長く延びているので、RKKY的相互作用による第1固定磁性層と第2固定磁性層間の磁化結合が強まる。

#### 【0046】

非磁性材料層と第2固定磁性層の間には、酸化しづらい非磁性材料で形成された酸化防止層を備えていてもよい。酸化防止層は  $5\text{ \AA}$  以上  $10\text{ \AA}$  以下の薄い膜厚で形成する。この膜厚範囲内の酸化防止層を備えていれば、非磁性材料層と第2固定磁性層が別工程で非連続に成膜された場合であっても、非磁性材料層の表面が酸化されることがなく、巨大磁気抵抗効果素子の巨大磁気抵抗効果を劣化させずにすむ。

#### 【0047】

第5の態様においても、下部シールド層とフリー磁性層の間、及び第1固定磁性層と部シールド層の間に、非磁性金属膜を介在させることが好ましい。上述したように非磁性金属膜は、 $\text{Au}$ 、 $\text{Ag}$ 、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Ir}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Ni-Cr}$ 、 $(\text{Ni-Fe})\text{-Cr}$ 、 $\text{Cr}$  のうちいずれか1種又は2種以上の元素を含む非磁性金属材料により形成することができる。第1固定磁性層と上部シールド層の間に介在する非磁性金属膜は、反強磁性層の上面を覆う第1上部非磁性金属膜と、この第1上部非磁性金属膜及び第1固定磁性層の上に形成された第2上部非磁性金属膜を備えていてもよい。この場合、第1上部非磁性金属膜は  $\text{Cr}$  により形成されていることが好ましい。下部シールド層とフリー磁性層の間に介在する非磁性金属膜は、第1固定磁性層を含む磁気抵抗効果素子のシード層としても機能するように、 $\text{Ta/Cu}$ 、 $\text{Ta/Ru/Cu}$ 、 $\text{Ta/Cr}$ 、 $\text{Ta/Ni-Cr}$ 、 $\text{Ta/(Ni-Fe)-Cr}$  又は  $\text{Cr}$  のいずれかにより形成されていることが好ましい。ただし、非磁性金属膜を形成する非磁性金属材料中に  $\text{Cr}$  が含まれている場合は、その  $\text{Cr}$  含有量が20原子%を超えていることが好ましい。

#### 【0048】

フリー磁性層及び非磁性材料層のハイト方向奥側であって第2固定磁性層の下には、絶縁層を備えることが实际的である。

#### 【0049】

反強磁性層は、絶縁反強磁性層であるか、第1固定磁性層に接する金属反強磁性層とこの金属反強磁性層の上に積層形成された絶縁反強磁性層とであることが好ましい。絶縁反強磁性層は例えば  $\text{Ni-O}$  又は  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  により形成され、前記金属反強磁性層は例えば  $\text{Pt-Mn}$  又は  $\text{Ir-Mn}$  により形成されている。

#### 【0050】

第6の態様は、第2固定磁性層の下に非磁性材料層及びフリー磁性層が形成されたタイプであって、第1固定磁性層、非磁性中間層及び第2固定磁性層が非磁性材料層及びフリー磁性層よりもハイト方向奥側に長く延ばして形成し、このハイト方向奥側に延長させた第2固定磁性層の下面に絶縁反強磁性層を接触させる。このように絶縁反強磁性層が第2固定磁性層の下面に接触していれば、第1固定磁性層と反強磁性層の接触面積（交換結合磁界が生じる面積範囲）を広く確保でき、安定且つ強固に固定磁性層の磁化を固定することができる。また、第1固定磁性層のみでなく、固定磁性層全体がハイト方向奥側に長く延びているので、RKKY的相互作用による第1固定磁性層と第2固定磁性層間の磁化結



合が強まる。絶縁反強磁性層は、例えばNi-O又は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>により形成することができる。

#### 【0051】

上記第1～第6の態様の各々では、第2固定磁性層の一部又は全部を、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10原子%、Co>30原子%、Cu>5原子%）、Fe-Co-Cu-X（ただし、XはPt、Pd、Mn、Si、Au、Agのいずれか1種又は2種以上の元素である）、又はCo<sub>2</sub>MnY（ただし、YはGe、Si、Sn、Alのいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成することができる。同様に、フリー磁性層の一部又は全部は、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10原子%、Co>30原子%、Cu>5原子%）、Fe-Co-Cu-X（ただし、XはPt、Pd、Mn、Si、Au、Agのいずれか1種又は2種以上の元素である）、又はCo<sub>2</sub>MnY（ただし、YはGe、Si、Sn、Alのいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成することができる。

#### 【0052】

本発明は、シングルスピンバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子を備えたC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドだけでなく、デュアルスピンバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子を備えたC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドにも適用可能である。このデュアルスピンバルブタイプには、所定のシールド間隔をあけて形成した下部シールド層と上部シールド層と、この上下のシールド層の間に下部固定磁性層、下部非磁性材料層、フリー磁性層、上部非磁性材料層及び上部固定磁性層を順に積層して形成したデュアルスピンバルブ型の巨大磁気抵抗効果素子とが備えられ、この巨大磁気抵抗効果素子の膜面に直交する方向に電流が流れる。本発明は、このようなC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、巨大磁気抵抗効果素子よりもハイト方向奥側に、下部固定磁性層と上部固定磁性層の磁化方向をハイト方向に固定する反強磁性層を備えたことを特徴としている。

#### 【0053】

具体的に、下部固定磁性層と上部固定磁性層は、フリー磁性層、下部非磁性材料層及び上部非磁性材料層よりもハイト方向奥側に延びて形成されていて、反強磁性層は、ハイト方向奥側に延びた下部固定磁性層の上面と上部固定磁性層の下面の界面にそれぞれ交換結合磁界を発生させ、この交換結合磁界により下部固定磁性層及び上部固定磁性層の磁化方向を固定することが好ましい。この反強磁性層としては、絶縁反強磁性層を用いるか、又は、下部固定磁性層に接する金属反強磁性層と上部固定磁性層に接する絶縁反強磁性層とを積層した反強磁性層を用いることが好ましい。固定磁性層と絶縁反強磁性層との間に金属反強磁性層を介在させることにより、固定磁性層と絶縁反強磁性層の結合が良好になり、固定磁性層にはたらく交換結合磁界がより強くなる。絶縁反強磁性層は例えばNi-O又は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>により形成され、金属反強磁性層は例えばPt-Mn又はIr-Mnにより形成されている。

#### 【0054】

別の態様として、下部固定磁性層と上部固定磁性層は、フリー磁性層、下部非磁性材料層及び上部非磁性材料層よりもハイト方向奥側に延びて形成する。そして、反強磁性層は、下部固定磁性層の下面との界面に生じさせた交換結合磁界により下部固定磁性層の磁化方向をハイト方向に固定する第1反強磁性層と、上部固定磁性層の下面との界面に生じさせた交換結合磁界により上部固定磁性層の磁化方向をハイト方向に固定する第2反強磁性層とにより形成することが好ましい。第1反強磁性層は、例えばPt-Mn等により形成された金属反強磁性層であることが好ましく、第2反強磁性層は、例えばNi-O又は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>により形成された絶縁反強磁性層であることが好ましい。

#### 【0055】

以上の各態様のC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、非磁性材料層はCu層であり、磁性中間層はRu層であることが实际的である。

#### 【発明の効果】

#### 【0056】

本発明によれば、巨大磁気抵抗素子よりもハイト方向奥側に、固定磁性層の磁化方向を固定する反強磁性層が備えられているので、センス電流の流れる電流経路に反強磁性層は存在せず、センス電流を流しても反強磁性層が発熱することはない。よって、センス電流を流したときに発生するジュール熱が大幅に減少し、この結果、素子温度の上昇が抑制されて信頼性が向上する。また、狭再生シールド間隔化による高記録密度化を推進することができる。

#### 【0057】

さらに本発明によれば、固定磁性層の少なくとも一部が巨大磁気抵抗素子よりもハイト方向奥側に長く延びて形成され、この延長させた固定磁性層の上面または下面に、巨大磁気抵抗素子よりもハイト方向奥側に備えられた反強磁性層が接触しているため、固定磁性層と反強磁性層の接触面積（交換結合磁界が生じる面積範囲）を広く確保でき、安定且つ強固に固定磁性層の磁化を固定することができる。

#### 【0058】

また本発明によれば、逆磁歪効果、形状異方性及びシード効果によって固定磁性層の磁化固定が強化されているので、固定磁性層の磁化はゆらぎにくく、単位面積当たりの磁気抵抗変化量  $\Delta R \cdot A$  が増大する。また、センス電流磁界の向きと固定磁性層の磁気モーメント（合成磁気モーメント）の向きとが一致していなくても、センス電流磁界によって固定磁性層の磁化がゆらぐず、センス電流密度を高くして高出力化を図ることが可能である。

#### 【0059】

さらに本発明によれば、固定磁性層の磁化方向を固定するために絶縁反強磁性層が備えられているので、該絶縁反強磁性層にセンス電流が入りこむことがなく、電流ロスを抑えて出力向上させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0060】

以下、図面に基づいて本発明を説明する。各図において、X方向はトラック幅方向、Y方向は記録媒体からの漏れ磁界方向、Z方向は記録媒体の移動方向及び巨大磁気抵抗効果素子を構成する各層の積層方向である。

#### 【0061】

図1～図5は、本発明によるC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッド（C P P-GMRヘッド）の第1実施形態を示している。図1はC P P-GMRヘッド1の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図2はGMR素子30を上から見て示す模式平面図、図3はC P P-GMRヘッド1の構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

#### 【0062】

C P P-GMRヘッド1は、図示Z方向に所定のシールド間隔R-G Lをあけて形成された下部シールド層10と上部シールド層50の間に、下部大面積非磁性金属膜20、巨大磁気抵抗効果を発揮するGMR素子30及び上部大面積非磁性金属膜40を有している。

#### 【0063】

下部シールド層10及び上部シールド層50は、磁気シールドと電極としての機能を有し、図1及び図2に示すように、GMR素子30よりも十分に広い面積で形成されている。この下部シールド層10及び上部シールド層50は、十分な磁気シールド効果が得られる軟磁性材料、例えばN i F eにより、約1  $\mu$  m程度の膜厚で形成されている。

#### 【0064】

下部大面積非磁性金属膜20は、下部シールド層10の直上に形成されたギャップ層であり、電極として及びGMR素子30を規則的に形成するためのシード層としても機能する。上部大面積非磁性金属膜40は、上部シールド層50の直下に位置するギャップ層であり、上部シールド層50と共に電極としても機能する。

#### 【0065】

下部大面積非磁性金属膜20及び上部大面積非磁性金属膜40は、GMR素子30の上



面（第2固定磁性層33c）と下面（フリー磁性層31）に直接接しており、図1及び図2に示すようにGMR素子30よりも十分広く、下部シールド層10及び上部シールド層50とはほぼ同じ面積を有している。

#### 【0066】

この下部大面積非磁性金属膜20及び上部大面積非磁性金属膜40は、下部シールド層10及び上部シールド層50よりも比抵抗が小さい非磁性金属材料で形成されている。具体的には、例えばAu、Ag、Cu、Ru、Rh、Ir、Pd、Ni-Cr、(Ni-Fe)-Cr、Crのいずれか1種又は2種以上の元素により形成されることが好ましく、形成材料中にCrが含まれる場合はCr含有量が20原子%を超えているとよい。これら大面積非磁性金属膜20、40は、単層膜であっても積層膜であってもよい。本実施形態の下部大面積非磁性金属膜20は、GMR素子30のシード層としても機能させるため、例えばTa/Cu、Ta/Ru/Cu、Ta/Cr、Ta/Ni-Cr、Ta/(Ni-Fe)-Cr又はCrのいずれかによって形成されている。

#### 【0067】

上記下部大面積非磁性金属膜20及び上部大面積非磁性金属膜40は、シールド間隔R-GLの(1/4)以上となる膜厚で形成される。例えば、シールド間隔R-GLが480~800Åであるとき、大面積非磁性金属膜20、40の膜厚 $t_{20}$ 、 $t_{40}$ は60~300Åであることが好ましい。この範囲内であれば、大面積非磁性金属膜20、40の比抵抗を、シールド層10、50の構成材料であるNiFeの1/5~1/10程度まで低減することができる。すなわち、大面積非磁性金属膜20、40の膜厚が60~300Åであるときのシート抵抗は、NiFe膜が300~3000Åの膜厚で形成されている場合のシート抵抗に相当する。よって、センス電流は大面積非磁性金属膜20、40を流れやすく、大面積非磁性金属膜20、40とシールド層10、50との境界面でセンス電流の集中を緩和することができる。これにより、下部シールド層10及び上部シールド層50のAMR効果による抵抗変化は小さく抑えられる。なお、下部大面積非磁性金属膜20の膜厚 $t_{20}$ と上部大面積非磁性金属膜40の膜厚 $t_{40}$ は、同一であっても異なってもよい。

#### 【0068】

GMR素子30は、図1に示されるようにトラック幅方向（図示X方向）においてシールド層10、50及び大面積非磁性金属膜20、40のほぼ中央部に位置しており、上下面が大面積非磁性金属膜20、40によって挟まれている。このGMR素子30は、大面積非磁性金属膜20、40がシールド間隔R-GLの(1/4)以上の膜厚で形成されているため、シールド間隔R-GLの(3/4)以下となる膜厚で形成されている。

#### 【0069】

GMR素子30は、下部大面積非磁性金属膜20側から順にフリー磁性層31、非磁性材料層32及び固定磁性層33を有している。図2、図3に示されるように、このGMR素子30（厳密にはフリー磁性層31及び非磁性材料層32）よりもハイト方向（図示Y方向）奥側には、固定磁性層33の磁化方向を固定する反強磁性層34が備えられている。フリー磁性層31、非磁性材料層32及び固定磁性層33は、ハイト方向の寸法が同一（ $h_1$ ）である。記録媒体との対向面（ABS面）には、下部大面積非磁性金属膜20、フリー磁性層31、非磁性材料層32、固定磁性層33及び上部大面積非磁性金属膜40が露出し、反強磁性層34は露出しない。GMR素子30は、図示例とは上下を逆にして、下から固定磁性層、非磁性材料層及びフリー磁性層の順番で積層形成されていてもよい。本実施形態では図示されていないが、フリー磁性層31の直下にはシード層が形成されていてもよく、また、固定磁性層33の直上にはキャップ層が形成されていてもよい。

#### 【0070】

固定磁性層33は、磁歪定数が正の値をとる磁性材料により各層が形成されていて、図1に示すように記録媒体との対向面側の端面（ABS面）が開放されている。このように記録媒体との対向面側の端面が解放されていると、固定磁性層33に対して二次元的且つ等方的に加わっていた応力の対称性が崩れ、固定磁性層33には、ハイト方向に平行な方

向に一軸性の引張り応力が加えられる。この逆磁歪効果により、固定磁性層 33 の磁化方向は、ハイト方向に平行な一軸方向で安定化している。

#### 【0071】

本実施形態の固定磁性層 33 は、磁性材料により形成された第 1 固定磁性層 33c 及び第 2 固定磁性層 33a と、これらの間に位置させて非磁性材料により形成された非磁性中間層 33b とからなる積層フェリ構造で形成されている。

#### 【0072】

第 1 固定磁性層 33c は、ハイト方向（図示 Y 方向）奥側端面で反強磁性層 34 と接している。反強磁性層 34 は、第 1 固定磁性層 33c のハイト方向奥側端面に接して該ハイト方向奥側端面との間に交換結合磁界を生じさせ、この交換結合磁界により第 1 固定磁性層 33c の磁化方向をハイト方向に固定している。第 1 固定磁性層 33c と第 2 固定磁性層 33a は、非磁性中間層 31b を介した RKKY 的相互作用により、互いに磁化が反平行状態となっている。すなわち、第 2 固定磁性層 31a の磁化方向はハイト方向と反平行方向になっている。

#### 【0073】

第 1 固定磁性層 33c 及び第 2 固定磁性層 33a は、その一部又は全部が、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10 原子%、Co>30 原子%、Cu>5 原子%）、Fe-Co-X（ただし、X は Pt、Pd、Mn、Si、Au、Ag のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である）、又は Co<sub>2</sub>MnY（ただし、Y は Ge、Si、Sn、Al のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である）により形成されている。この第 1 固定磁性層 33c 及び第 2 固定磁性層 33a の膜厚は、例えば 10～70 Å 程度である。非磁性中間層 33b は、第 1 固定磁性層 33c と第 2 固定磁性層 33a の間に RKKY 的相互作用がはたらく材質及び膜厚で形成される。本実施形態の非磁性中間層 33b は、例えば Ru により 3～10 Å 程度の膜厚で形成されている。なお、固定磁性層 33 は、積層フェリ構造ではなく、磁性膜による単層構造または積層構造であってもよい。

#### 【0074】

反強磁性層 34 は、元素 Z（ただし元素 Z は、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os のうち 1 種または 2 種以上の元素である）と Mn とを含有する反強磁性材料で形成されることが好ましい。あるいは、元素 Z と元素 Z'（ただし元素 Z' は、Ne、Ar、Kr、Xe、Be、B、C、N、Mg、Al、Si、P、Ti、V、Cr、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、Zr、Nb、Mo、Ag、Cd、Sn、Hf、Ta、W、Re、Au、Pb、及び希土類元素のうち 1 種又は 2 種以上の元素である）と Mn とを含有する反強磁性材料により形成されることが好ましい。これら反強磁性材料は、耐食性に優れていてブロッキング温度も高く、反強磁性層 34 と第 1 固定磁性層 33c の界面で大きな交換結合磁界を発生させることができる。反強磁性層 34 は、80 Å 以上で 300 Å 以下の膜厚で形成されることが好ましく、本実施形態では約 150 Å の膜厚で形成されている。

#### 【0075】

非磁性材料層 32 は、電気抵抗の低い導電材料によって形成されることが好ましく、本実施形態では例えば Cu により形成されている。この非磁性材料層 32 は、例えば 25 Å 程度の膜厚で形成される。フリー磁性層 31 は、その一部又は全部が、Fe-Co-Cu（ただし、Fe>10 原子%、Co>30 原子%、Cu>5 原子%）、Fe-Co-X（ただし、X は Pt、Pd、Mn、Si、Au、Ag のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である）、又は Co<sub>2</sub>MnY（ただし、Y は Ge、Si、Sn、Al のいずれか 1 種又は 2 種以上の元素である）により形成されている。フリー磁性層 31 の膜厚は、例えば 100 Å 程度である。このフリー磁性層 31 は、磁性膜による単層構造をなしているが、磁性膜による積層構造とすることも積層フェリ構造とすることも可能である。フリー磁性層 31 及び非磁性材料層 32 の両側部には、トラック幅方向に磁化されているハードバイアス層 63 が接している。このハードバイアス層 63 と GMR 素子 30 との間には、第 1 絶縁層 61 又は第 2 絶縁層 64 が数 Å～数十 Å 程度介在していてもよい。フリー磁性層 31 の磁化は、ハードバイアス層 63 の縦バイアス磁界によって、トラック幅方向（図示 X

方向)に揃えられている。

#### 【0076】

また大面積非磁性金属膜20、40の間には、GMR素子30のトラック幅方向の両側部に位置させて、下から順に第1絶縁層61、バイアス下地層62、上述のハードバイアス層63、第2絶縁層64が積層形成されている。

#### 【0077】

第1絶縁層61及び第2絶縁層64は、例えば $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの絶縁材料で形成され、ハードバイアス層63(及びハードバイアス下地層62)と大面積非磁性金属膜20、40の間を埋めている。すなわち、第1絶縁層61は、フリー磁性層31の両側部の一部に接する膜厚で、下部大面積非磁性金属膜20の上に形成されている。第2絶縁層64は、固定磁性層33の両側部に接する膜厚で、ハードバイアス層63の上に形成されている。

#### 【0078】

バイアス下地層62は、ハードバイアス層63の特性(保磁力 $H_c$ 、角形比 $S$ )を向上させ、ハードバイアス層63から発生するバイアス磁界を増大させるために設けられている。バイアス下地層62は、体心立方構造(bcc構造)の金属膜で形成されることが好ましく、具体的にはCr、W、Mo、V、Mn、Nb、Taのいずれか1種または2種以上の元素で形成されることが好ましい。このバイアス下地層62は、ハードバイアス層63の下側のみに形成されていることが好ましいが、フリー磁性層31の両側部とハードバイアス層63との間に若干介在していてもよい。フリー磁性層31の両側部とハードバイアス層63の間に形成されるバイアス下地層62のトラック幅方向における膜厚は、1nm以下であることが好ましい。バイアス下地層62が介在していれば、ハードバイアス層63とフリー磁性層31とを磁氣的に連続体にすることができ、フリー磁性層31の端部が反磁界の影響を受けるバックリング現象を防止することができ、フリー磁性層31の磁区制御が容易になる。

#### 【0079】

以上の全体構成を有するCPP-GMRヘッド1は、センス電流がGMR素子30の膜面に対して垂直方向(膜厚方向)に流れたとき、GMR素子30の巨大磁気抵抗効果を利用して記録媒体からの漏れ磁界を検出することができる。図4に示す矢印は、上部シールド層50側から下部シールド層10側に向かってセンス電流を流した場合に生じる電流経路を示している。

#### 【0080】

図4に示されるように、上部シールド層50に与えられたセンス電流は、その大部分が上部シールド層50よりも比抵抗の小さい上部大面積非磁性金属膜40に流れ込む。上部大面積非磁性金属膜40に流れ込んだセンス電流は、上部大面積非磁性金属膜40がGMR素子30よりも広い範囲に存在しているため、該上部大面積非磁性金属膜40内を膜面に対して平行に流れ、上部大面積非磁性金属膜40と固定磁性層33の界面から該GMR素子30の膜面に直交する方向(膜厚方向)に流れた後、フリー磁性層31と下部大面積非磁性金属膜20の界面から下部大面積非磁性金属膜20に入る。下部大面積非磁性金属膜20内に入ったセンス電流は、下部大面積非磁性金属膜20の比抵抗が下部シールド層50よりも小さく且つ下部大面積非磁性金属膜20がGMR素子30よりも広い範囲に存在しているため、その大部分が比抵抗のより小さい下部大面積非磁性金属膜20内を膜面に対して平行に流れ、GMR素子30の下層に位置する範囲の下部シールド層10にはほとんど流れない。

#### 【0081】

このような電流経路によれば、GMR素子30が形成されている範囲の上層位置又は下層位置に、センス電流が集中することがない。すなわち、大面積非磁性金属膜20、40とシールド層10、50の界面における電流密度は小さくなり、シールド層10、50のAMR効果が生じて、該AMR効果によるノイズ(シールド層10、50の抵抗変化)を小さく抑えられる。なお、下部シールド層10から上部シールド層50に向かってセン

ス電流を流す場合には、センス電流の流れる方向は逆向きであるが、同様の電流経路ができる。

#### 【0082】

また、上述したように固定磁性層 33（第1固定磁性層 33a）の磁化方向を固定するための反強磁性層 34は第1固定磁性層 33cよりもハイト方向奥側に形成されており、図4に示される電流経路中には反強磁性層 34が存在していない。一般に反強磁性層は、GMR素子 30や大面積非磁性金属膜 20、40に比して比抵抗が大幅に大きく、また、反強磁性特性を得るために70～300 Å程度の厚い膜厚で形成されるため、電流が流れると大きなジュール熱を発生させる。よって、本実施形態のように電流経路中に反強磁性層が存在していなければ、センス電流を流しても反強磁性層が発熱しないので、ヘッドの温度が過度に上昇せず、信頼性を改善することができる。また、電流経路中に反強磁性層が存在していなければ、ヘッドの高周波特性も改善される。

#### 【0083】

また本実施形態では、電流経路中に反強磁性層を設けないことにより、シールド間隔 R-G Lを従来よりも小さくすることができ、さらに、上部大面積非磁性金属膜 20及び下部大面積非磁性金属膜 40を従来よりも厚い膜厚 t 20、t 40で形成できている。なお、従来では、図55に示すように固定磁性層の直上に反強磁性層が厚い膜厚で形成されていたため、シールド間隔 R-G L'を大きくさせずに非磁性金属膜を十分に厚くすることができなかった。

#### 【0084】

以下では、図1に示すC P P-GMRヘッド1の製造方法について説明する。

#### 【0085】

先ず、下から順に下部シールド層 10、下部大面積非磁性金属膜 20、フリー磁性層 31、非磁性材料層 32、第2固定磁性層 33a、非磁性中間層 33b、及び第1固定磁性層 33cを真空中でベタ膜上に連続成膜する。各層の材料及び膜厚は、図1に示された完成状態のC P P-GMRヘッド1と同じである。

#### 【0086】

次に、第1固定磁性層 33cの上に、形成すべきGMR素子 30の光学的な素子面積（トラック幅寸法 T w、高さ寸法 h 1）と同程度、あるいは該素子面積よりも若干小さい面積を覆うリフトオフ用のレジスト層を形成する。

#### 【0087】

レジスト層を形成したら、レジスト層に覆われていない第1固定磁性層 33c、非磁性中間層 33b、第2固定磁性層 33a、非磁性材料層 32及びフリー磁性層 31をイオンミリング等により除去する。この工程により、下部大面積非磁性金属膜 20のトラック幅方向のほぼ中央部上に、トラック幅寸法 T wと高さ寸法 h 1を有する、フリー磁性層 31から第1固定磁性層 33cまでの各層で構成されるGMR素子 30が略台形状となって残される。なお、GMR素子 30の両側端面にはイオンミリングで除去された物質の一部が再付着するので、この再付着物を再度ミリングで除去することが好ましい。

#### 【0088】

続いて、GMR素子 30の両側端面にかけて、第1絶縁層 61、バイアス下地層 62、ハードバイアス層 63及び第2絶縁層 64を連続でスパッタ成膜する。上記各層の材料及び膜厚は、図1に示された完成状態のC P P-GMRヘッド1と同じである。なお、スパッタ成膜時におけるスパッタ粒子角度は、下部大面積非磁性金属膜 20に対してほぼ垂直方向とすることが好ましい。スパッタ成膜後は、レジスト層を除去する。

#### 【0089】

レジスト層を除去したら、図2及び図3に示すように、第1固定磁性層 33cのハイト方向奥側に反強磁性層 34を形成する。すなわち、第1固定磁性層 33c及び第2絶縁層 64の上に、反強磁性層形成エリアを空間とするレジスト層を形成し、このレジスト層に覆われていない第2絶縁層 64を例えばイオンミリング等により除去し、除去部分に反強磁性層 34を形成する。反強磁性層 34の形成後は、レジスト層を除去する。

## 【0090】

続いて、GMR素子T1をハイト方向（図示Y方向）の磁場中でアニールし、反強磁性層34と第1固定磁性層33cの間にそれぞれ交換結合磁界を発生させる。このとき、アニール温度は例えば270℃程度であり、印加磁界の大きさは800kA/m程度である。この磁場中アニール処理により、第1固定磁性層33cの磁化方向はハイト方向に固定され、第2固定磁性層33aの磁化方向はハイト方向に対して反平行方向に固定される。

## 【0091】

アニール処理後は、図5に示すように、第1固定磁性層33c及び第2絶縁層64の上に上部大面積非磁性金属膜40をスパッタ成膜し、上部大面積非磁性金属膜40の上面にCMP加工又はイオンミリングを施す。このCMP加工又はイオンミリングにより、上部大面積非磁性金属膜40の上面が平坦化される。上部大面積非磁性金属膜40の材料及びCMP加工後の膜厚t40は、図1に示された完成状態のCPP-GMRヘッド1と同じである。

## 【0092】

そして、平坦化された上部大面積非磁性金属膜40の上に、上部シールド層50をスパッタ成膜する。この上部シールド層50は、上部大面積非磁性金属膜40を成膜する際に、該上部大面積非磁性金属膜40と連続でスパッタ成膜してもよい。

## 【0093】

以上により、図1～図3に示すCPP-GMRヘッド1が完成する。

## 【0094】

以上の本実施形態では、上述の元素ZとMnとを含有する反強磁性材料又は上述の元素Zと元素Z'とMnとを含有する反強磁性材料からなる金属性の反強磁性層34を備えているが、この反強磁性層34に替えて、例えばNi-O又は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>からなる絶縁反強磁性層を用いることができる。この絶縁反強磁性層によれば、センス電流ロスを抑制することができ、出力向上につながる。また本実施形態では、上部大面積非磁性金属膜40がGMR素子30及び第2絶縁層64を覆って形成されていることから、上部大面積非磁性金属膜40にCMP加工を施すことができ、平坦性を確保することができる。よって、上部シールド層50上に記録用のインダクティブヘッドを積層して形成する際にも平坦性が保障される。

## 【0095】

図6～図13は、本発明によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド（CPP-GMRヘッド）の第2実施形態を示している。

## 【0096】

第2実施形態は、第1実施形態の下部大面積非磁性金属膜20、上部大面積非磁性金属膜40に替えて下部非磁性金属膜220、上部非磁性金属膜240を備えた点、及び第2固定磁性層のハイト方向奥側の端面で接する反強磁性層34に替えて、ハイト方向奥側に延長させた第2固定磁性層の上面で接する反強磁性層234を備えた点で第1実施形態と最も異なる。この第2実施形態によれば、非磁性金属膜220、240が広い面積で存在していなくても、センス電流の流れる範囲に反強磁性層234が存在しないためにジュール熱の発生が抑えられ、さらに、固定磁性層231と反強磁性層234の接触面積を十分に確保でき、固定磁性層231の磁化をより強固に固定できるという独自の効果が得られる。

## 【0097】

図6はCPP-GMRヘッド201の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図7はCPP-GMRヘッド201の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図8はGMR素子230を上から見て示す模式平面図である。図6～図8において、図1～図3に示す第1実施形態と同一の符号を付した層の機能、形状、形成材料及び膜厚は、第1実施形態と同一であるため、これらの説明は省略する。

## 【0098】

CPP-GMRヘッド201は、上部シールド層10及び下部シールド層50を介して

センス電流を膜厚方向に流したとき、GMR効果を発揮するGMR素子230を備えている。GMR素子230は、第1実施形態のGMR素子30とは各層の積層順が上下逆になっており、下から順番に固定磁性層231（第1固定磁性層231a、非磁性中間層231b、第2固定磁性層231c）、非磁性材料層232及びフリー磁性層233を有している。

#### 【0099】

固定磁性層231は、磁歪定数が正の値をとる磁性材料により各層が形成されていて、図6に示すように記録媒体との対向面側の端面が開放されている。このように記録媒体との対向面側の端面が解放されていると、固定磁性層231に対して二次元的に且つ等方的に加わっていた応力の対称性が崩れ、固定磁性層231には、ハイト方向に平行な方向に一軸性の引張り応力が加えられる。この逆磁歪効果により、固定磁性層231の磁化方向は、ハイト方向に平行な一軸方向で安定化している。

#### 【0100】

また固定磁性層231では、図6及び図8に示すように、第1固定磁性層231a、非磁性中間層231b、第2固定磁性層231cの一部が非磁性材料層232及びフリー磁性層233よりもハイト方向奥側に長く延びて形成されており、その高さ寸法 $h_2$ がトラック幅寸法 $T_w$ よりも長くなっている。よって、第1固定磁性層231a及び第2固定磁性層231cには、ハイト方向に平行な方向に形状異方性がそれぞれ生じており、この形状異方性によっても磁化がハイト方向に平行な一軸方向で安定化されている。

#### 【0101】

第1固定磁性層231a及び非磁性中間層231bの膜厚は、第1実施形態の第1固定磁性層33c及び非磁性中間層33bと同様である。第2固定磁性層231cの膜厚は、素子部よりも素子部外（ハイト方向奥側）で薄く、素子部では50Å程度、素子部外では40Å程度である。

#### 【0102】

第1固定磁性層231aの直下位置には、該第1固定磁性層231aよりもトラック幅方向で長くハイト方向ではほぼ同じ長さを有する下部非磁性金属膜220が形成されている。下部非磁性金属膜220は、下部シールド層10と共に電極として機能するほか、GMR素子230を構成する各層を規則的に形成するシード層としても機能する。GMR素子230の各層の結晶粒径や結晶配向性は、下部非磁性金属膜220によって制御される。この下部非磁性金属膜220のシード効果によっても、第1固定磁性層231a及び第2固定磁性層231cの磁化固定は強化される。下部非磁性金属膜220は、第1実施形態の下部大面積非磁性金属膜20と同じ非金属材料で形成することができ、その膜厚は下部大面積非磁性金属膜20よりも薄くなっている。本実施形態では、 $Ta/Cr$ による2層構造で下部非磁性金属膜220が形成されている。

#### 【0103】

フリー磁性層233上には、該フリー磁性層233と同じ面積を有する上部非磁性金属膜240が形成されている。この上部非磁性金属膜240、上部シールド層50の一部、フリー磁性層233、非磁性材料層232及び第2固定磁性層231cの一部は、そのハイト方向奥側の端面位置が滑らかに連続している。上部非磁性金属膜240は、第1実施形態の上部大面積非磁性金属膜40と同じ非磁性金属材料で形成することができ、その膜厚は上部大面積非磁性金属膜40よりも薄くなっている。

#### 【0104】

上記CPP-GMRヘッド201は、固定磁性層231の磁化方向を固定するための反強磁性層234を、GMR素子230よりもハイト方向奥側の位置で、第2固定磁性層231cの上面に接触させて備えている。すなわち、反強磁性層234は、ハイト方向奥側に延長させた第2固定磁性層231cの上に、上部非磁性金属膜240、フリー磁性層233、非磁性材料層232及び第2固定磁性層231cの一部のハイト方向奥側の端面にも接して形成されている。反強磁性層234の形成材料及び膜厚は、第1実施形態の反強磁性層34と同じである。

**【0105】**

反強磁性層 234 は、第 2 固定磁性層 231c との界面に交換結合磁界を発生させ、該交換結合磁界により第 2 固定磁性層 231c の磁化方向をハイト方向に固定する。第 1 固定磁性層 231a と第 2 固定磁性層 231c は、非磁性中間層 231b を介した RKKY 的相互作用により、互いに磁化が反平行状態となっている。よって、第 1 固定磁性層 231a の磁化はハイト方向と反平行方向に固定されている。本実施形態では、第 1 固定磁性層 231a の単位面積あたりの磁気モーメント（飽和磁化  $M_s \times$  膜厚  $t$ ）を第 2 固定磁性層 231c の単位面積あたりの磁気モーメントよりも大きくしてあるので、固定磁性層 231 の全体としての磁化方向は第 1 固定磁性層 231a の磁化方向に等しくなる。図 6 では、第 1 固定磁性層 231a の磁化方向を太い矢印で、第 2 固定磁性層 231c の磁化方向を細い矢印でそれぞれ示してある。

**【0106】**

上述したように本実施形態では、逆磁歪効果による一軸異方性、形状異方性及び下部非磁性金属膜 220 によるシード効果によっても、第 1 固定磁性層 231a 及び第 2 固定磁性層 231c の磁化が強固に固定されている。

**【0107】**

反強磁性層 234 と上部シールド層 50 の間には、センス電流が反強磁性層 234 側に流れないように、 $Al_2O_3$  や  $SiO_2$  などの絶縁材料により形成された第 1 バックフィルギャップ層（絶縁層）271 が形成されている。第 1 バックフィルギャップ層 271、反強磁性層 234、第 2 固定磁性層 231c、非磁性中間層 231b、第 1 固定磁性層 231a 及び下部非磁性金属膜 220 は、図 7 に示すように、ハイト方向奥側の端面位置が一致している。これら第 1 バックフィルギャップ層 271、反強磁性層 234、第 2 固定磁性層 231c、非磁性中間層 231b、第 1 固定磁性層 231a 及び下部非磁性金属膜 220 のハイト方向奥側では、 $Al_2O_3$  や  $SiO_2$  などの絶縁材料により形成された第 2 バックフィルギャップ層（絶縁層）272 によって、下部シールド層 10 と上部シールド層 50 の間が埋められている。

**【0108】**

次に、図 9～図 12 を参照し、図 6～図 8 に示す CPP-GMR ヘッド 201 の製造方法の一実施形態について説明する。

**【0109】**

図 9～図 12 において、(a) は CPP-GMR ヘッド 201 の製造工程を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、(b) は CPP-GMR ヘッド 201 の製造工程を素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。各層の形成材料及び膜厚は、完成状態の CPP-GMR ヘッド 201 と同一であるため、説明を省略する。

**【0110】**

まず、下部シールド層 10 上に、下から順に下部非磁性金属膜 220、第 1 固定磁性層 231a、非磁性中間層 231b、第 2 固定磁性層 231c、非磁性材料層 232、フリー磁性層 234 及び上部非磁性金属膜 240 を同一真空中で連続成膜する。成膜にはスパッタ法を用いる。このとき、第 2 固定磁性層 231c は、完成状態の第 2 固定磁性層 231c の素子部と同じ膜厚で均一に成膜しておく。

**【0111】**

次に、上部非磁性金属膜 240 上に、形成すべき GMR 素子 230 のトラック幅寸法  $T_w$  を規定するレジスト層 R1 を形成する。

**【0112】**

レジスト層 R1 を形成したら、レジスト層 R1 に覆われていない上部非磁性金属膜 240 から第 1 固定磁性層 231a までの各層（上部非磁性金属膜 240、フリー磁性層 233、非磁性材料層 232、第 2 固定磁性層 231c、非磁性中間層 231b 及び第 1 固定磁性層 231a）を例えばイオンミリングにより除去し、下部非磁性金属膜 220 が露出したらイオンミリングを終了する。この工程により、図 9 に示されるように、下部非磁性金属膜 220 のトラック幅方向のほぼ中央部上に、第 1 固定磁性層 231a からフリー磁



性層 233 までの各層で構成される GMR 素子 230 と上部非磁性金属膜 240 が残される。なお、GMR 素子 230 の両側端面にはイオンミリングで除去された物質の一部が再付着するので、この再付着物を再度ミリングで除去することが好ましい。

#### 【0113】

続いて、図 10 に示すように、GMR 素子 230 の両側端面にかけて、第 1 絶縁層 61、バイアス下地層 62、ハードバイアス層 63 及び第 2 絶縁層 64 を連続成膜する。成膜にはスパッタ法を用いる。なお、スパッタ成膜時におけるスパッタ粒子角度は、下部非磁性金属膜 220 に対してほぼ垂直方向とすることが好ましい。成膜後は、レジスト層 R1 を除去する。

#### 【0114】

レジスト層 R1 を除去したら、上部非磁性金属膜 240 上に、形成すべき GMR 素子 230 の高さ寸法  $h_1$  を規定するレジスト層 R2 を形成する。

#### 【0115】

続いて、図 11 に示すように、レジスト層 R2 に覆われていない上部非磁性金属膜 240、フリー磁性層 233、非磁性材料層 232 及び第 2 固定磁性層 231c の一部を例えばイオンミリングにより除去し、この除去部分に反強磁性層 234 と第 1 バックフィルギャップ層 271 を成膜する。

#### 【0116】

上記イオンミリング工程により、上部非磁性金属膜 240、フリー磁性層 233 及び非磁性材料層 232 は GMR 素子 230 となる素子部のみに残され、第 2 固定磁性層 231c の一部、非磁性中間層 231b 及び第 1 固定磁性層 231a は、フリー磁性層 233 及び非磁性材料層 232 よりもハイト方向奥側に長く延びた状態で残される。この上部非磁性金属膜 240、上部シールド層 50 の一部、フリー磁性層 233、非磁性材料層 232 及び第 2 固定磁性層 231c の一部は、そのハイト方向奥側の端面位置が滑らかに連続している。第 2 固定磁性層 231c は、素子部よりも素子部外（ハイト方向奥側に長く延びた部分）で膜厚が薄くなっている。

#### 【0117】

第 1 バックフィルギャップ層 271 の成膜後は、リフトオフによりレジスト層 R2 を除去する。

#### 【0118】

レジスト層 R2 を除去したら、上部非磁性金属膜 240 及び第 1 バックフィルギャップ層 271 の上に、第 2 固定磁性層 231c、非磁性中間層 231b 及び第 1 固定磁性層 231a の高さ寸法  $h_2$  を規定するレジスト層 R3 を形成する。この高さ寸法  $h_2$  は、GMR 素子 230 のトラック幅寸法  $T_w$  及び高さ寸法  $h_1$  よりも大きく設定されている。レジスト層 R3 は、上記レジスト層 R2 よりもハイト方向の寸法が大きくなっている。

#### 【0119】

続いて、図 12 に示すように、レジスト層 R3 に覆われていない第 1 バックフィルギャップ層 271 から少なくとも第 1 固定磁性層 231a までの各層を例えばイオンミリングにより除去する。本実施形態では、レジスト層 R3 に覆われていない第 1 バックフィルギャップ層 271、反強磁性層 234、第 2 固定磁性層 231c の一部、非磁性中間層 231b、第 1 固定磁性層 231a、下部非磁性金属膜 220 を除去し、該除去部分に下部シールド層 10 を露出させる。この露出させた下部シールド層 10 上には、同図 12 に示すように、第 2 バックフィルギャップ層 272 を成膜する。第 2 バックフィルギャップ層 272 の成膜後は、レジスト層 R3 をリフトオフにより除去する。

#### 【0120】

レジスト層 R3 を除去したら、ハイト方向の磁場中でアニール処理を行なう。このとき、アニール温度は例えば 270℃程度であり、印加磁界の大きさは 800 kA/m 程度である。この磁場中アニール処理が施されることにより反強磁性層 234 は、少なくとも一部の不規則格子が規則格子に変態し、反強磁性特性を発揮する。すなわち、反強磁性層 234 と第 2 固定磁性層 231c の間に交換結合磁界が発生する。発生した交換結合磁界に



より、第2固定磁性層231cの磁化方向はハイト方向に固定され、第1固定磁性層231aの磁化方向はハイト方向に対して反平行方向に固定される。図6に示す矢印方向は、第1固定磁性層231a及び第2固定磁性層231cの磁化方向をそれぞれ示している。

#### 【0121】

本実施形態では、ハイト方向奥側に延長させた第2固定磁性層231cの上面に反強磁性層234が接触しているため、該反強磁性層234と第2固定磁性層231cの接触面積（交換結合磁界が生じている面積範囲）を十分に確保でき、第2固定磁性層231cの磁化を強固に固定することができる。よって、非磁性中間層231bを介して第1固定磁性層231aの磁化も強固に固定される。

#### 【0122】

アニール処理後は、上部非磁性金属膜240、第2絶縁層64、第1バックフィルギャップ層271及び第2バックフィルギャップ層272の上に、上部シールド層50を成膜する。なお、上部非磁性金属膜240は、上部シールド層50を成膜する直前に成膜してもよい。

#### 【0123】

以上の工程により、図6～図8に示すCPP-GMRヘッド201が完成する。

#### 【0124】

以上のように第2実施形態では、素子部（非磁性材料層232及びフリー磁性層233）よりもハイト方向奥側に延ばした第2固定磁性層231cの上面に接触し、この第2固定磁性層231cの上面との間に交換結合磁界を発生させる反強磁性層234を備えている。よって、第1実施形態のように第1固定磁性層231a又は第2固定磁性層231cのいずれかのハイト方向奥側の端面に接する反強磁性層を備える場合よりも、第2固定磁性層231cと反強磁性層234の接触面積（交換結合磁界が生じる面積範囲）を広く確保でき、安定且つ強固に固定磁性層の磁化を固定することができる。ここで、第2固定磁性層231cと反強磁性層234の接触面積は、第1実施形態における第1固定磁性層33cと反強磁性層34の接触面積の500倍以上に相当している。なお、反強磁性層と固定磁性層の接触面積は、第2実施形態ではトラック幅寸法 $T_w$ とハイト方向の寸法 $h$ （ $=h_2-h_1$ ）により規定され、第1実施形態ではトラック幅寸法 $T_w$ と第1固定磁性層33cの膜厚により規定されている。

#### 【0125】

また第2実施形態では、固定磁性層231が正の磁歪定数を有する磁性材料により形成され、該固定磁性層231の記録媒体との対向面側の端面が開放されているので、逆磁歪効果によっても第1固定磁性層231a及び第2固定磁性層231cの磁化固定が強化されている。さらに、固定磁性層231がトラック幅方向よりもハイト方向に長く形成されているので（ $T_w < h_2$ ）、形状異方性によっても第1固定磁性層231a及び第2固定磁性層231cの磁化固定が強化されている。また $T_a/C_r$ による2層構造で形成した下部非磁性金属膜220の上にGMR素子230を構成する各層が形成されているので、この下部非磁性金属膜220のシールド効果によっても第1固定磁性層231a及び第2固定磁性層231cの磁化固定が強化されている。

#### 【0126】

以上の第2実施形態では、上部シールド層50から下部シールド層10に向けてセンス電流をGMR素子230の膜面に対して垂直方向（膜厚方向）に流したとき、図13に細矢印で示すように図示右回りのセンス電流磁界が発生する。このセンス電流磁界の向きは、第1固定磁性層231a及び第2固定磁性層231cの合成磁気モーメントの向き（図13中の太矢印で示す向き）と一致していることが固定磁性層231の磁化固定をさらに強固にする上で望ましい。ただし、本第2実施形態のように固定磁性層231の磁化が十分強固に固定されていれば、センス電流磁界の向きと第1固定磁性層231a及び第2固定磁性層231cの合成磁気モーメントの向きとが一致していなくても、発生したセンス電流磁界によって固定磁性層231の磁化がゆらぐことがない。これにより、センス電流密度を高くして高出力化を図ることが可能である。

## 【0127】

また第2実施形態では、第1実施形態と同様に反強磁性層234がGMR素子230よりもハイト方向奥側に位置しているので、反強磁性層234はセンス電流の流れる電流経路から隔離され、GMR素子230にセンス電流を流しても反強磁性層234が発熱することがない。よって、動作時にGMR素子230の発熱が大幅に低減され、この結果、素子温度の上昇が抑制されて信頼性が向上する。本第2実施形態では反強磁性層234の上面がGMR素子230の上面よりも上に位置しているが、反強磁性層234の上面は第1バックフィルギャップ層271により覆われているので、センス電流は反強磁性層234にほとんど流れず、分流ロスが軽減されて再生出力の向上を図ることが可能である。

## 【0128】

また反強磁性層234がGMR素子230よりもハイト方向奥側に位置していれば、記録媒体との対向面でシールド間隔R-G Lを図55に示す従来よりも狭くすることができ、高分解能化を図ることができる。

## 【0129】

なお、本実施形態の非磁性金属膜220、240は、第1実施形態の上部大面積非磁性金属膜20及び下部大面積非磁性金属膜40と同様に、広い面積及び厚い膜厚で形成されている。

## 【0130】

図14～図19は、本発明によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド（CPP-GMRヘッド）の第3実施形態を示している。

## 【0131】

第3実施形態は、第2固定磁性層の上面ではなく、第1固定磁性層の下面で接する反強磁性層334を備えた点で第2実施形態と異なる。反強磁性層の配置位置以外は、第2実施形態と同じである。

## 【0132】

図14はCPP-GMRヘッド301の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図15はCPP-GMRヘッド301の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図16はGMR素子330を上から見て示す模式平面図である。図14～図16において、図6～図8に示す第2実施形態と同一の符号を付した層の機能、形成材料及び膜厚は、第2実施形態と同じである。

## 【0133】

CPP-GMRヘッド301は、上部シールド層10及び下部シールド層50を介してセンス電流を膜厚方向に流したとき、GMR効果を発揮するGMR素子330を備えている。GMR素子330は、第2実施形態のGMR素子230と同様に、下から順番に固定磁性層331（第1固定磁性層331a、非磁性中間層331b、第2固定磁性層331c）、非磁性材料層332及びフリー磁性層333を有している。非磁性材料層332及びフリー磁性層333は、第2実施形態の非磁性材料層232及びフリー磁性層233と同じ形状、膜厚及び形成材料で形成されている。

## 【0134】

固定磁性層331は、第2実施形態の固定磁性層231と同様に、磁歪定数が正の値をとる磁性材料により各層が形成され、図14に示すように記録媒体との対向面側の端面が開放されている。よって、固定磁性層331の磁化方向は、逆磁歪効果によりハイト方向に平行な一方向で安定化している。

## 【0135】

また固定磁性層331では、図14及び図16に示すように、第1固定磁性層331a、非磁性中間層331b、第2固定磁性層331cの一部が非磁性材料層332及びフリー磁性層333よりもハイト方向奥側に長く延びて形成されており、その高さ寸法h2がトラック幅寸法Twよりも長くなっている。これにより、第1固定磁性層331a及び第2固定磁性層331cには、ハイト方向に平行な方向に形状異方性がそれぞれ生じており、この形状異方性によっても磁化がハイト方向に平行な方向で安定化している。

## 【0136】

第1固定磁性層331aは、下部非磁性金属膜220上に及び下部非磁性金属膜220から反強磁性層334上に跨って形成されており、反強磁性層334の上面及び端面（図14の左側端面）を覆う段差部を有している。非磁性中間層331b及び第2固定磁性層331cの一部は、第1固定磁性層331a上に積層形成されていて、第1固定磁性層331aと同様の段差部を有している。

## 【0137】

第1固定磁性層331a、非磁性中間層331b及び第2固定磁性層331cの膜厚は、第2実施形態の第1固定磁性層231a、非磁性中間層331b及び第2固定磁性層231cの膜厚と同じである。また本実施形態でも、第1固定磁性層331aの単位面積当たりの磁気モーメントが第2固定磁性層331cの単位面積当たりの磁気モーメントよりも大きくなっている。

## 【0138】

反強磁性層334は、素子部（非磁性材料層332及びフリー磁性層333）よりもハイト方向奥側に位置させて下部非磁性金属膜220上に形成され、該上面（図14の左側端面を含む）で第1固定磁性層331に接している。この反強磁性層334は、第1固定磁性層331aとの界面に交換結合磁界を発生させ、該交換結合磁界により第1固定磁性層331aの磁化方向をハイト方向に対して反平行方向に固定する。第1固定磁性層331aと第2固定磁性層331cは、非磁性中間層331bを介したRKKY的相互作用により、磁化が互いに反平行状態となっている。これにより、第2固定磁性層331cの磁化はハイト方向に固定される。本実施形態では、第1固定磁性層331aの単位面積当たりの磁気モーメントが第2固定磁性層331cの単位面積当たりの磁気モーメントよりも大きいので、固定磁性層331の全体としての磁化方向は第1固定磁性層331aの磁化方向に等しくなる。図14では、第1固定磁性層331aの磁化方向を太い矢印で、第2固定磁性層331cの磁化方向を細い矢印で示してある。

## 【0139】

反強磁性層334は、第2実施形態の反強磁性層234と同じ形成材料及び膜厚で形成することができる。下部非磁性金属膜220の膜厚は、第1固定磁性層331aの形成されている範囲のほうが反強磁性層334の形成されている範囲よりも薄くなっている。

## 【0140】

第2固定磁性層331cと上部シールド層50の間には、センス電流が直接第2固定磁性層331cに流れないように、 $Al_2O_3$ や $SiO_2$ などの絶縁材料により形成されたバックフィルギャップ層370が介在している。このバックフィルギャップ層370は、非磁性材料層332、フリー磁性層333及び上部非磁性金属膜240のハイト方向奥側の端面に接して形成されている。

## 【0141】

次に、図17～図19を参照し、図14～図16に示すCPP-GMRヘッド201の製造方法の一実施形態について説明する。図17～図19は、CPP-GMRヘッド301の製造工程を素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。各層の形成材料及び膜厚は、完成状態のCPP-GMRヘッド301と同一である。

## 【0142】

まず、下部シールド層10上に、下から順に下部非磁性金属膜220と反強磁性層334を同一真空中で連続成膜する。成膜にはスパッタ法を用いる。本実施形態では、第2実施形態と同様に、下部非磁性金属膜220をTa/Crの2層構造で形成する。

## 【0143】

次に、反強磁性層334上に、反強磁性層334の平面的な大きさを規定するレジスト層を形成し、このレジスト層に覆われていない反強磁性層334及び下部非磁性金属膜220のCr膜の一部を例えばイオンミリングにより除去し、さらにレジストをリフトオフにより除去する。ここまでの工程により、下部非磁性金属膜220上には、図17に示すようにハイト方向奥側の一部にのみ、反強磁性層334が残る。

**【0144】**

レジスト層を除去したら、次に行なう成膜工程の前処理として、下部非磁性金属膜 220 及び反強磁性層 334 の表面をクリーニングする。

**【0145】**

続いて、図 18 に示すように、クリーニング後の下部非磁性金属膜 220 及び反強磁性層 334 上に、第 1 固定磁性層 331a、非磁性中間層 331b、第 2 固定磁性層 331c、非磁性材料層 332、フリー磁性層 333 及び上部非磁性金属膜 240 を同一真空中で連続成膜する。成膜にはスパッタ法を用いる。下部非磁性金属膜 220 の上面位置と反強磁性層 334 の上面位置との間には大きな段差が生じているため、上記成膜された第 1 固定磁性層 331a から上部非磁性金属膜 240 までの各層にも、ハイト方向奥側に段差ができる。第 2 固定磁性層 331c は、完成状態の第 2 固定磁性層 331c の素子部と同じ膜厚で成膜しておく。

**【0146】**

続いて、上部非磁性金属膜 240 上に、形成すべき GMR 素子 330 のトラック幅寸法  $T_w$  を規定するレジスト層を形成する。

**【0147】**

レジスト層を形成したら、該レジスト層に覆われていない上部非磁性金属膜 240、フリー磁性層 333、非磁性材料層 332、第 2 固定磁性層 331c、非磁性中間層 331b 及び第 1 固定磁性層 331a を例えばイオンミリングにより除去し、下部非磁性金属膜 220 が露出したらイオンミリングを終了する。この工程により、下部非磁性金属膜 220 のトラック幅方向のほぼ中央部上に、第 1 固定磁性層 331a からフリー磁性層 333 までの各層で構成される GMR 素子 330 と上部非磁性金属膜 240 が残される。なお、GMR 素子 330 の両側端面にはイオンミリングで除去された物質の一部が再付着するので、この再付着物を再度ミリングで除去することが好ましい。

**【0148】**

続いて、上記レジストを残した状態のまま、GMR 素子 330 の両側端面にかけて第 1 絶縁層 61、バイアス下地層 62、ハードバイアス層 63 及び第 2 絶縁層 64 を連続成膜する。成膜にはスパッタ法を用いる。なお、スパッタ成膜時におけるスパッタ粒子角度は、下部非磁性金属膜 220 に対してほぼ垂直方向とすることが好ましい。成膜後は、レジスト層をリフトオフにより除去する。

**【0149】**

レジスト層を除去したら、上部非磁性金属膜 240 上に、形成すべき GMR 素子 330 の高さ寸法  $h_1$  を規定するレジスト層を新たに形成する。

**【0150】**

続いて、レジスト層に覆われていない上部非磁性金属膜 240、フリー磁性層 333、非磁性材料層 332 及び第 2 固定磁性層 331c の一部を例えばイオンミリングにより除去し、この除去部分にバックフィルギャップ層 370 を成膜する。バックフィルギャップ層 370 の成膜後は、リフトオフによりレジスト層を除去する。

**【0151】**

上記イオンミリング工程により、図 19 に示されるように、上部非磁性金属膜 240、フリー磁性層 333 及び非磁性材料層 332 は、GMR 素子 330 となる素子部のみに残される。一方、第 2 固定磁性層 331c の一部、非磁性中間層 331b 及び第 1 固定磁性層 331a は、フリー磁性層 333 及び非磁性材料層 332 よりもハイト方向奥側に長く延びており、段差部も成膜時の状態で残される。第 2 固定磁性層 331c は、素子部よりも素子部外（ハイト方向奥側に長く延びた部分）で膜厚が薄くなっている。

**【0152】**

レジスト層を除去したら、ハイト方向に対して反平行方向をなす磁場中でアニール処理を行ない、反強磁性層 334 と第 1 固定磁性層 331a の間に交換結合磁界を発生させる。このとき、アニール温度は例えば 270℃程度であり、印加磁界の大きさは 800 kA/m 程度である。この磁場中アニール処理により、第 1 固定磁性層 331a の磁化方向は

ハイト方向に対して反平行方向に固定され、第2固定磁性層331cの磁化方向はハイト方向に固定される。図14に示す矢印方向は、第1固定磁性層331a及び第2固定磁性層331cの磁化方向をそれぞれ示している。本実施形態では、ハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層331aの下面が反強磁性層334を覆っているため、該反強磁性層334と第1固定磁性層331aの接触面積（交換結合磁界が生じている面積範囲）を十分に確保でき、第1固定磁性層331aの磁化を強固に固定できる。よって、非磁性中間層331bを介して第2固定磁性層331cの磁化も強固に固定される。

#### 【0153】

アニール処理後は、上部シールド層を形成するための前処理として、例えばCMP加工又はイオンミリング等により上部非磁性金属膜240、第2絶縁層64及びバックフィルギャップ層370の上面を平坦化する。そして、平坦化された上部非磁性金属膜240、第2絶縁層64及びバックフィルギャップ層370上に、上部シールド層50を成膜する。

#### 【0154】

以上の工程により、図14～図16に示すCPP-GMRヘッド301が完成する。

#### 【0155】

以上のように第3実施形態では、素子部（非磁性材料層332及びフリー磁性層333）よりもハイト方向奥側に延ばした第1固定磁性層331aの下面に接触し、この第1固定磁性層331aの下面との間に交換結合磁界を発生させる反強磁性層334を備えている。よって、第2実施形態と同様に、第1固定磁性層331aと反強磁性層334の接触面積（交換結合磁界の発生する面積範囲）を広く確保でき、安定且つ強固に固定磁性層の磁化を固定することができる。ここで、第1固定磁性層331aと反強磁性層334の接触面積は、第1実施形態のように第1固定磁性層又は第2固定磁性層のいずれかのハイト方向奥側の端面に接する反強磁性層を備える場合よりも大きく、第1実施形態における第1固定磁性層33cと反強磁性層34の接触面積の500倍以上に相当している。なお、反強磁性層と固定磁性層の接触面積は、第3実施形態では反強磁性層334のトラック幅方向寸法と高さ寸法と膜厚により規定される。

#### 【0156】

第3実施形態では、第2実施形態と同様に、逆磁歪効果による一軸異方性、形状異方性、及び下部非磁性金属膜220のシード効果によっても、第1固定磁性層331a及び第2固定磁性層331cの磁化固定が強化されている。このように第1固定磁性層331a及び第2固定磁性層331cの磁化が強固に固定されていれば、センス電流磁界の向きと第1固定磁性層331a及び第2固定磁性層331cの合成磁気モーメントの向きとが一致していなくても、発生したセンス電流磁界によって固定磁性層331の磁化がゆらぐことがないので、センス電流密度を高くして高出力化を図ることが可能である。

#### 【0157】

また第3実施形態では、第1及び第2実施形態と同様に、GMR素子330にセンス電流を流しても反強磁性層334が発熱することがなく、素子温度の上昇が抑制されて信頼性が向上する。また記録媒体との対向面でシールド間隔R-GLを図55に示す従来よりも狭くすることができ、高分解能化を図ることができる。

#### 【0158】

図20～図25は、本発明によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド（CPP-GMRヘッド）の第4実施形態を示している。

#### 【0159】

図20はCPP-GMRヘッド401の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図21はCPP-GMRヘッド401の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図22はGMR素子を上から見て示す模式平面図である。図20～図25において、図14～図16に示す第3実施形態と同一の符号を付した層の機能、形成材料及び膜厚は、第3実施形態と同じである。

#### 【0160】

第4実施形態は、第3実施形態のCPP-GMRヘッド301において、下部非磁性金属膜220と第1固定磁性層331aの間、及び反強磁性層334と第1固定磁性層331aとの間に渡って、磁歪増強層434を介在させたものである。磁歪増強層434は、第1固定磁性層331aとの界面で結晶不整合を生じさせ、この結晶構造の歪みにより第1固定磁性層331aの磁歪定数を増大させる機能を有している。第1固定磁性層331aの磁歪が増大すれば、第1固定磁性層331a及び第2固定磁性層331cの磁化固定をより強固にでき、出力が増大すると共に出力の安定性及び対称性も向上する。

#### 【0161】

磁歪増強層434及び反強磁性層334は、Z-Mn合金（ただしZは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Ni、Feのいずれか1種又は2種以上の元素である）により形成されている。磁歪増強層434は、上記材料によって形成されると、少なくとも第1固定磁性層331aとの界面付近で面心立方構造（fcc）をとり、該界面と平行な方向に、 $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向する。

#### 【0162】

磁歪増強層434は、5Å以上50Å以下の膜厚で形成されている。この膜厚範囲内であれば、熱処理が施されても、膜厚が薄いために不規則格子から規則格子に変態できず、成膜時の面心立方構造（fcc）を維持し続ける。磁歪増強層434の結晶構造が面心立方構造（fcc）であるとき、磁歪増強層434は反強磁性特性を発揮せず、磁歪増強層434と第1固定磁性層331aの界面には交換結合磁界が発生しないか、発生しても極めて弱い。なお、磁歪増強層434は、膜厚が50Åを超えていると、約250℃以上の熱が加えられたときに反強磁性層334と同様にCuAuI型の規則方の面心正方構造（fct）に構造変態してしまう。ただし、磁歪増強層434の膜厚が50Åを超えていても、約250℃の熱が加えられなければ、磁歪増強層434の結晶構造は面心立方構造（fcc）を維持し続ける。

#### 【0163】

上記磁歪増強層434と第1固定磁性層331aは、エピタキシャル又はヘテロエピタキシャルな状態で整合されることによって、結晶構造に歪みが適度に生じる。

#### 【0164】

本実施形態の磁歪増強層434は、上述したように、面心立方構造（fcc）をなし、第1固定磁性層331aとの界面に平行な方向に、 $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向している。一方、第1固定磁性層331aは、Co又は $\text{Co}_m\text{Fe}_n$ （ $n \leq 20$ 、 $n+m=100$ ）により形成されていて、面心立方構造（fcc）をなし、磁歪増強層434との界面に平行な方向に、 $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面が優先配向している。よって、磁歪増強層434を構成する原子と第1固定磁性層331aを構成する原子が互いに重なり合いやすく、磁歪増強層434内の結晶と第1固定磁性層331a内の結晶は、エピタキシャルな整合状態になっている。ただし、結晶構造に歪みを生じさせるためには、磁歪増強層434の $\{111\}$ 面内の最近接原子間距離 $N_2$ と第1固定磁性層331aの $\{111\}$ 面内の最近接原子間距離 $N_1$ との差が一定以上あることが必要である。図23に模式的に示すように本実施形態では、磁歪増強層434を構成する原子と第1固定磁性層331aを構成する原子とが重なり合いつつも、界面付近で結晶構造に歪みが生じている状態になる。

#### 【0165】

また本実施形態では、磁歪増強層434を構成するZ-Mn合金中のZ元素の含有量を、40原子%以上95元素%以下に調整してある。この範囲内であると、第1固定磁性層331aの磁歪が正で大きな値をとり且つ安定する。

#### 【0166】

次に、図24及び図25を参照し、図20～図22に示すCPP-GMRヘッド401の製造方法の一実施形態について説明する。図24及び図25は、CPP-GMRヘッド401の製造工程を素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。各層の形成材料及び膜厚は、完成状態のCPP-GMRヘッド401と同一であるため、説

明を省略する。

#### 【0167】

先ず、下部シールド層10上に、Ta/Crの2層構造による下部非磁性金属膜220を成膜する。次に、下部非磁性金属膜220上に、反強磁性層の形成範囲を空間としたレジストを形成し、このレジストに覆われていない下部非磁性金属膜220の一部(Cr膜の一部)を例えばイオンミリングにより除去する。続いて、図24に示すように上記レジストを残した状態のまま、反強磁性層334とRu層440を連続成膜する。成膜にはスパッタ法を用いる。Ru層440は、反強磁性層334の酸化防止層として機能するもので、約5~10Å程度の薄い膜厚で成膜する。Ru層440の成膜後は、上記レジストをリフトオフにより除去する。

#### 【0168】

続いて、例えば低イオンエネルギーイオンビームエッチングにより、反強磁性層334上のRu層440を除去すると同時に、下部非磁性金属膜220上に生じた酸化層を除去する。

#### 【0169】

続いて、図25に示すように、下部非磁性金属膜220及び反強磁性層334上に、磁歪増強層434、第1固定磁性層331a、非磁性中間層331b、第2固定磁性層331c、非磁性材料層332、フリー磁性層333及び上部非磁性金属膜240を連続成膜する。本実施形態では、磁歪増強層434と第1固定磁性層331aをエピタキシャルな状態で整合させており、磁歪増強層434と第1固定磁性層331aの界面では、それぞれの結晶構造に歪みが生じている。

#### 【0170】

上部非磁性金属膜240を成膜した後の工程は、上述した第2実施形態の製造工程とすべて同一なので、説明を省略する。

#### 【0171】

以上のように第4実施形態では、第1固定磁性層331aとの界面で結晶不整合歪を生じさせる磁歪増強層434を備えたので、第1固定磁性層331aの磁歪が増大し、固定磁性層331の磁化固定をより強固にすることができる。また磁歪増強層434は、5~50Å程度の薄い膜厚で形成されているため、熱処理が施されても反強磁性特性を発揮しない。よって、GMR素子330にセンス電流を流したときにジュール熱を増大させることも電流ロスを増やすこともなく、さらに狭シールド間隔化にも対応可能である。

#### 【0172】

第4実施形態では、磁歪増強層434と第1固定磁性層331aをエピタキシャルな状態で接合させているが、磁歪増強層434と第1固定磁性層331aをヘテロエピタキシャルな状態で接合させた場合にも、該磁歪増強層434と第1固定磁性層331aの界面に、結晶構造の歪みを適度(第1固定磁性層331a、非磁性中間層331b及び第2固定磁性層331aの原子配列を乱さない程度)に生じさせることが可能である。

#### 【0173】

具体的には、第1固定磁性層331aを $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ ) によって形成する。すると、第1固定磁性層331aは、体心立方構造(bcc)をとり、磁歪増強層434との界面に平行な方向に、 $\{110\}$ 面で表される等価な結晶面を優先配向する。体心立方構造を有する結晶の $\{110\}$ 面として表される等価な結晶面の原子配列と面心立方構造を有する結晶の $\{111\}$ 面として表される等価な結晶面の原子配列は類似しているため、面心立方構造を有する磁歪増強層434の構成原子と体心立方構造を有する第1固定磁性層331aの構成原子は、ヘテロエピタキシャルな状態で接合することができる。この第1固定磁性層331aの $\{110\}$ 面内の最近接原子間距離と磁歪増強層434の $\{111\}$ 面内の最近接原子間距離には、一定以上の差が生じる。このため、第1固定磁性層331aと磁歪増強層434との界面付近では、第1固定磁性層331aの構成原子と磁歪増強層434の構成原子が互いに重なりつつも、それぞれの結晶構造に歪みが適度に生じる。この歪みにより、第1固定磁性層331aの磁歪が増大する。



## 【0174】

上述のように第1固定磁性層331aの形成材料としては、体心立方構造をとる $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ )、面心立方構造をとるCo又は $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ )のいずれを用いてもよい。体心立方構造をとる $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ )を用いると、面心立方構造をとるCo又は $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ )を用いた場合よりも正磁歪をより増大させることができる。面心立方構造をとるCo又は $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ )を用いると、保磁力が大きく、第1固定磁性層331aの磁化固定を強固にすることができる。

## 【0175】

また、体心立方構造をとる $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ )と面心立方構造をとるCo又は $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ )の両方を用いて、固定磁性層331aを形成することも可能である。具体的に例えば、磁歪増強層434側の界面付近の組成をCo又は $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \leq 20$ 、 $n+m=100$ )とし、非磁性中間層323側の界面付近の組成を $\text{Co}_n\text{Fe}_m$  ( $m \geq 20$ 、 $n+m=100$ )とすることができる。この場合、磁歪増強層434側の界面から非磁性中間層323側の界面に向かうにつれてFe濃度が大きくなる。

## 【0176】

上記第2～第4実施形態は、非磁性材料層232(332)の下に固定磁性層231(331)が位置するタイプのCPP-GMRヘッドである。

## 【0177】

以下では、非磁性材料層の上に固定磁性層が位置するタイプの第5～第8実施形態について説明する。

## 【0178】

図26～図28は、本発明によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド(CPP-GMRヘッド)の第5実施形態を示している。

## 【0179】

第5実施形態は、非磁性材料層の上に固定磁性層を積層したタイプのCPP-GMRヘッドであって、ハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層531aの上面に、反強磁性層534を備えたことを特徴としている。

## 【0180】

図26はCPP-GMRヘッド501の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図27はCPP-GMRヘッド501の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図28はGMR素子530を上から見て示す模式平面図である。図26～図28において、図6～図8に示す第2実施形態と同一の符号を付した層の機能、形成材料及び膜厚は、第2実施形態と同じである。

## 【0181】

CPP-GMRヘッド501は、上部シールド層10及び下部シールド層50を介してセンス電流を膜厚方向に流したとき、GMR効果を発揮するGMR素子530を備えている。GMR素子530は、上記第2～第4実施形態のGMR素子とは各層の積層順が上下逆になっており、下から順番にフリー磁性層533、非磁性材料層532及び固定磁性層531(第2固定磁性層531c、非磁性中間層531b、第1固定磁性層531a)を有している。フリー磁性層533及び非磁性材料層532は、第2実施形態のフリー磁性層233及び非磁性材料層232と同じ形状、膜厚及び形成材料で形成されている。

## 【0182】

固定磁性層531は、第2実施形態の固定磁性層231と同様に、磁歪定数が正の値をとる磁性材料により各層が形成され、図26に示すように記録媒体との対向面側の端面が開放されている。これにより、固定磁性層531の磁化方向は、逆磁歪効果によりハイト方向に平行な一方向で安定化している。

## 【0183】

固定磁性層531では、第1固定磁性層531aがGMR素子部(フリー磁性層533



、非磁性材料層 532、第2固定磁性層 531c 及び非磁性中間層 531b) よりもトラック幅方向及びハイト方向に長く延びて形成されている。すなわち、第1固定磁性層 531a は、高さ寸法  $h_2$  が GMR 素子 530 の高さ寸法  $h_1$  よりも大きく、トラック幅方向の寸法  $T_{w'}$  が GMR 素子 530 のトラック幅寸法  $T_w$  よりも大きくなっている。この第1固定磁性層 531a の高さ寸法  $h_2$  はトラック幅方向の寸法  $T_{w'}$  よりも長く、第1固定磁性層 531a にはハイト方向に平行な方向に形状異方性が生じる。この形状異方性により、第1固定磁性層 531a の磁化はハイト方向に平行な方向に安定化している。

#### 【0184】

第1固定磁性層 531a 上には、GMR 素子 530 の上方位置に上部非磁性金属膜 540 が形成され、GMR 素子 530 及び上部非磁性金属膜 540 よりもハイト方向奥側の位置に反強磁性層 534 が形成されている。第1固定磁性層 531a の膜厚は、上部非磁性金属膜 240 が形成されている範囲よりも反強磁性層 534 が形成されている範囲のほうが薄い。

#### 【0185】

反強磁性層 534 は、第2実施形態の反強磁性層 234 と同じ形成材料及び膜厚で形成されており、GMR 素子 530 よりもハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層 531a の上面に接する。この反強磁性層 534 は、第1固定磁性層 531a との界面で交換結合磁界を発生させ、該交換結合磁界により第1固定磁性層 531a の磁化方向をハイト方向と反平行方向に固定する。第1固定磁性層 531a と第2固定磁性層 531c は、非磁性中間層 531b を介した RKKY 的相互作用により、互いに磁化が反平行状態となっている。よって、第2固定磁性層 531b の磁化はハイト方向と反平行方向に固定されている。本実施形態では、第1固定磁性層 531a の単位面積あたりの磁気モーメントが第2固定磁性層 531c の単位面積あたりの磁気モーメントよりも大きく、固定磁性層 531 の全体としての磁化方向は第1固定磁性層 531a の磁化方向に等しくなる。なお、第2固定磁性層 531c 及び非磁性中間層 531b の膜厚は、第2実施形態の第2固定磁性層 231c 及び非磁性中間層 231b と同じである。

#### 【0186】

上部非磁性金属膜 540 は、トラック幅方向及びハイト方向で GMR 素子部 (フリー磁性層 533、非磁性材料層 532、第2固定磁性層 531c 及び非磁性中間層 531b) よりも長く形成されている。この上部非磁性金属膜 540 は、上部シールド層 10 と共に電極として機能する。上部非磁性金属膜 540 は、第2実施形態の上部非磁性金属膜 240 と同じ形成材料及び膜厚で形成することができる。

#### 【0187】

フリー磁性層 533 の直下位置には、該フリー磁性層 533 よりもハイト方向で長くトラック幅方向ではほぼ同じ長さを有する下部非磁性金属膜 520 が形成されている。下部非磁性金属膜 520 は、下部シールド層 10 と共に電極として機能するほか、GMR 素子 530 を構成する各層を規則的に形成するシード層としても機能する。この下部非磁性金属膜 520 は、第2実施形態の下部非磁性金属膜 220 と同じ形成材料及び膜厚で形成することができる。本実施形態でも  $T_a/C_r$  による2層構造で下部非磁性金属膜 520 を形成してある。

#### 【0188】

フリー磁性層 533 から非磁性中間層 531b までの各層のハイト方向奥側では、ハイト方向奥側に延ばした第1固定磁性層 531a と下部非磁性金属膜 520 の間がバックフィルギャップ層 570 によって埋められている。バックフィルギャップ層 570 は、 $Al_2O_3$  や  $SiO_2$  などの絶縁材料で形成されており、センス電流の分流を抑制する。

#### 【0189】

次に、図26～図28に示す CPP-GMR ヘッド 501 の製造方法の一実施形態について説明する。各層の形成材料及び膜厚は完成状態の CPP-GMR ヘッド 501 と同一であるため、説明を省略する。

#### 【0190】

先ず、下部シールド層 10 上に、下から順に下部非磁性金属膜 520、フリー磁性層 533、非磁性材料層 532、第2固定磁性層 531c 及び非磁性中間層 531b を連続成膜する。成膜にはスパッタ法を用いる。なお、酸化されやすい磁性材料で非磁性中間層 531b を形成する場合には、非磁性中間層 531b 上に、該非磁性中間層 531b の表面酸化を防止する酸化防止層を 5 ~ 10 Å 程度の薄い膜厚で同時に形成しておくことが好ましい。

#### 【0191】

次に、非磁性中間層 531b 上に、形成すべき GMR 素子 530 のトラック幅寸法  $T_w$  を規定するレジスト層を形成する。

#### 【0192】

レジスト層を形成したら、該レジストに覆われていない非磁性中間層 531b から下部非磁性金属膜 520 までの各層を例えばイオンミリングにより除去し、該除去部分に下部シールド層 10 を露出させる。この工程により、下部シールド層 10 のトラック幅方向のほぼ中央部上に、下部非磁性金属膜 520 から非磁性中間層 531b までの各層が残される。

#### 【0193】

続いて、レジスト層を残したままの状態、下部非磁性金属膜 520 から非磁性中間層 531b までの各層のトラック幅方向の両側部に、第1絶縁層 61、バイアス下地層 62、ハードバイアス層 63 及び第2絶縁層 64 を連続成膜する。成膜にはスパッタ法を用い、成膜時のスパッタ粒子角度は下部非磁性金属膜 520 に対してほぼ垂直方向とすることが好ましい。成膜後は、レジスト層をリフトオフにより除去する。

#### 【0194】

レジスト層を除去したら、非磁性中間層 531b 上に、形成すべき GMR 素子 530 の高さ寸法  $h_1$  を規定するレジスト層を形成し、該レジスト層に覆われていない非磁性中間層 531b、第2固定磁性層 531a、非磁性材料層 532 及びフリー磁性層 533 を例えばイオンミリングにより除去する。この工程により、非磁性中間層 531b、第2固定磁性層 531a、非磁性材料層 532 及びフリー磁性層 533 の高さ寸法は、GMR 素子 530 の高さ寸法  $h_1$  となる。

#### 【0195】

GMR 素子 530 のトラック幅寸法  $T_w$  を規定する工程と高さ寸法  $h_1$  を規定する工程の順番は、逆であってもよい。

#### 【0196】

続いて、上記レジスト層を残したままの状態、非磁性中間層 531b、第2固定磁性層 531a、非磁性材料層 532 及びフリー磁性層 533 のハイト方向奥側に、バックフィルギャップ層 570 を成膜する。バックフィルギャップ層 570 の成膜後は、レジスト層をリフトオフにより除去する。

#### 【0197】

上記レジスト層を除去したら、非磁性中間層 531b 上に、第1固定磁性層 531a の形成範囲を空間としたレジスト層を新たに形成する。そして、このレジスト層から露出している非磁性中間層 531b の表面を例えば低エネルギーイオンビームエッチング又はプラズマ照射等によりクリーニングした後、第1固定磁性層 531a 及び上部非磁性金属膜 540 を連続成膜する。成膜後は、レジスト層をリフトオフにより除去する。

#### 【0198】

ここで「低エネルギーイオンビームエッチング」とは、ビーム電圧（加速電圧）が 1000 V 未満のイオンビームを用いたイオンミリングをいう。具体的に例えば、100 ~ 500 V のビーム電圧が用いられる。本実施形態では、200 V の低ビーム電圧のアルゴン (Ar) イオンビームを用いている。「低エネルギーイオンビームエッチング」の定義は、以下においても同じである。

#### 【0199】

続いて、反強磁性層 534 の形成範囲を空間としたレジスト層を新たに上部非磁性金属

膜 540 上に形成し、このレジスト層で覆われていない上部非磁性金属膜 540 及び第 1 固定磁性層 531a の一部を例えばイオンミリングにより除去してから、該除去部分に反強磁性層 534 を成膜する。反強磁性層 534 の成膜後はレジスト層をリフトオフにより除去する。

#### 【0200】

そして、上述の第 2 実施形態と同様に、ハイト方向の磁場中でアニール処理を行ない、上部非磁性金属膜 540 及び反強磁性層 534 上に上部シールド層 50 を形成する。これにより、図 26～図 28 に示す CPP-GMR ヘッド 501 が完成する。

#### 【0201】

以上のように第 5 実施形態では、GMR 素子部（フリー磁性層 533 から非磁性中間層 531b までの各層）よりもハイト方向奥側に延ばした第 1 固定磁性層 531a の上面にハイト方向奥側で接触し、この第 1 固定磁性層 531a との界面に交換結合磁界を発生させる反強磁性層 534 を備えている。よって、上述の第 2～第 4 実施形態と同様に、第 1 固定磁性層 531a と反強磁性層 534 の接触面積（交換結合磁界の発生する面積範囲）を広く確保でき、安定且つ強固に固定磁性層 531 の磁化を固定することができる。ここで、第 1 固定磁性層 531a と反強磁性層 534 の接触面積は、第 1 実施形態のように第 1 固定磁性層又は第 2 固定磁性層のいずれかのハイト方向奥側の端面に接する反強磁性層を備える場合よりも大きく、第 1 実施形態における第 1 固定磁性層 33c と反強磁性層 34 の接触面積の 500 倍以上に相当している。

#### 【0202】

第 5 実施形態では、第 2～第 4 実施形態と同様に、逆磁歪効果による一軸異方性、形状異方性、及び下部非磁性金属膜 520 のシード効果によっても、第 1 固定磁性層 531a 及び第 2 固定磁性層 531c の磁化固定が強化されている。このように第 1 固定磁性層 531a 及び第 2 固定磁性層 531c の磁化が強固に固定されていれば、センス電流磁界の向きと第 1 固定磁性層 531a 及び第 2 固定磁性層 531c の合成磁気モーメントの向きとが一致しなくても、発生したセンス電流磁界によって固定磁性層 531 の磁化がゆらぐことがないので、センス電流密度を高くして高出力化を図ることが可能である。

#### 【0203】

また第 5 実施形態では、第 2～第 4 実施形態と同様に、GMR 素子 530 にセンス電流を流しても反強磁性層 534 が発熱することがなく、素子温度の上昇が抑制されて信頼性が向上する。また記録媒体との対向面でシールド間隔 R-GL を図 55 に示す従来よりも狭くすることができ、高分解能化を図ることができる。

#### 【0204】

図 29～図 35 は、本発明による CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド（CPP-GMR ヘッド）の第 6 実施形態を示している。

#### 【0205】

第 6 実施形態は、上述の第 5 実施形態と同様に、ハイト方向奥側に延長させた第 1 固定磁性層 531a の上面に接する反強磁性層 534 を備えたことを特徴としているが、第 5 実施形態とは異なる製造方法で形成されている。

#### 【0206】

図 29 は CPP-GMR ヘッド 601 の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図 30 は CPP-GMR ヘッド 601 の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図 31 は GMR 素子を上から見て示す模式平面図である。図 29～図 31 において、図 26～図 28 に示す第 5 実施形態と同一の符号を付した層の機能、形成材料及び膜厚は、第 5 実施形態と同じである。

#### 【0207】

CPP-GMR ヘッド 601 では、上部非磁性金属膜 640 が、反強磁性層 534 の上面を覆う第 1 非磁性金属膜 641 と、この第 1 非磁性金属膜 641 及び第 1 固定磁性層 531a 上に形成された第 2 非磁性金属膜 642 により構成されている。第 1 非磁性金属膜 641 は、製造工程中に行なう RIE（反応性イオンエッチング）時にストッパとして機

能するもので、Crにより形成されている。この第1非磁性金属膜641と第2非磁性金属膜642の間には、メタルマスク層650が介在していてもしていなくてもよい。本実施形態の上部非磁性金属膜640と第5実施形態の上部非磁性金属膜540との形状及び構成の違いは、異なる製造方法によって生じた違いであり、上部非磁性金属膜としての効果には異なることがない。

#### 【0208】

図32～図35を参照し、図29～図31に示すCPP-GMRヘッド601の製造方法の一実施形態について説明する。各層の形成材料及び膜厚は完成状態のCPP-GMRヘッド601と同一であるため、説明を省略する。

#### 【0209】

先ず、第5実施形態と同様にして、下部シールド層10上に、下から順に下部非磁性金属膜520、フリー磁性層533、非磁性材料層532、第2固定磁性層531c及び非磁性中間層531bを連続成膜する。

#### 【0210】

次に、非磁性中間層531b上に、形成すべきGMR素子530の高さ寸法h1を規定するレジスト層を形成する。

#### 【0211】

レジスト層を形成したら、該レジストに覆われていない非磁性中間層531bから下部非磁性金属膜520の一部（Cr膜の一部）までを例えばイオンミリングにより除去し、該除去部分にバックフィルギャップ層570を形成してからレジスト層をリフトオフにより除去する。

#### 【0212】

続いて、低エネルギーイオンミリング又はプラズマ照射により、非磁性中間層531b及びバックフィルギャップ層570の表面をクリーニングする。そして、図32に示すように、クリーニング後の非磁性中間層531b及びバックフィルギャップ層570上に、第1固定磁性層531a、反強磁性層534及び第1非磁性金属膜641を連続成膜する。第1非磁性金属膜641は、後のRIE工程時にストップとして機能するものである。この第1非磁性金属膜641は、Cr膜641aとTa膜641bによる2層構造で成膜しておく。

#### 【0213】

続いて、反強磁性層534の形成範囲を空間とするレジスト層を第1非磁性金属膜641上に形成してから、メタルマスク層650を成膜し、リフトオフにより不要なメタルマスク層650とレジスト層を除去する。これにより、図33に示すように、反強磁性層534の形成範囲にメタルマスク層650が形成される。このメタルマスク層650は、例えばCrにより形成することができる。

#### 【0214】

メタルマスク層650を形成したら、図34に示すように、露出しているTa膜641aをRIEにより除去する。エッチングガスとしては、CF<sub>4</sub>、C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>、ArとCF<sub>4</sub>の混合ガス、ArとC<sub>3</sub>F<sub>8</sub>の混合ガスを使用する。RIEは、第1非磁性金属膜641のCr膜641bが露出した時点で終了させる。このRIE工程により、第1非磁性金属膜641のTa膜641aはメタルマスク層650の直下位置にのみ残る。

#### 【0215】

続いて、図35に示すように、反強磁性層534の形成範囲に存在するメタルマスク層650及び第1非磁性金属膜641のTa膜641bをマスクとして、不要な反強磁性層534をイオンミリングにより除去する。このイオンミリング工程は、第1固定磁性層531aの上面が露出した時点又は第1固定磁性層531aの一部を除去した時点で終了させる。この工程時には、マスクとして用いたメタルマスク650も削られるから、第1非磁性金属膜641のTa膜641bとCr膜641a及びメタルマスク650の一部が反強磁性層534の上面に残る。あるいは、メタルマスク650及びTa膜641bがすべて削られ、Cr膜641aだけが反強磁性層534の上面に残ってもよい。本実施形態で

は、第1非磁性金属膜641及びメタルマスク650の一部を反強磁性層534の上面に残している。

#### 【0216】

イオンミリング終了後は、露出している第1固定磁性層531a上とメタルマスク650又は第1非磁性金属膜641上に、反強磁性層534を跨いで、第2非磁性金属膜642を成膜する。第2非磁性金属膜642は、上記第5実施形態の上部非磁性金属膜540と同じ形成材料によって形成する。

#### 【0217】

続いて、ハイト方向に対して反平行方向をなす磁場中でアニール処理を行ない、反強磁性層534と第1固定磁性層531aの間に交換結合磁界を発生させる。このとき、アニール温度は例えば270℃程度であり、印加磁界の大きさは800kA/m程度である。磁場中アニール処理により、第1固定磁性層531aの磁化方向はハイト方向に対して反平行方向に固定され、第2固定磁性層531cの磁化方向はハイト方向に固定される。図29に示す矢印方向は、第1固定磁性層531a及び第2固定磁性層531cの磁化方向をそれぞれ示している。

#### 【0218】

上記磁場中アニール処理は、形成すべきGMR素子530のトラック幅寸法を規定した後に行なってもよい。

#### 【0219】

アニール処理後は、第2上部非磁性金属膜642上に、形成すべきGMR素子530のトラック幅寸法 $T_w$ を規定するレジスト層を形成し、このレジスト層に覆われていない第2上部非磁性金属膜642、第1固定磁性層531a、非磁性中間層531b、第2固定磁性層531c、非磁性材料層532、フリー磁性層533及び下部非磁性金属膜520を例えばイオンミリングにより除去する。この工程により、下部シールド層10のトラック幅方向のほぼ中央部に、下部非磁性金属膜520と、第1固定磁性層331aからフリー磁性層333までの各層で構成されるGMR素子330と、第2上部非磁性金属膜642とが残される。なお、GMR素子530の両側端面にはイオンミリングで除去された物質の一部が再付着するので、この再付着物を再度ミリングで除去することが好ましい。

#### 【0220】

そして、上記レジスト層を残した状態のまま、GMR素子530の両側端面にかけて第1絶縁層61、バイアス下地層62、ハードバイアス層63及び第2絶縁層64を連続成膜する。成膜にはスパッタ法を用いる。スパッタ成膜時のスパッタ粒子角度は、下部シールド層10に対してほぼ垂直方向とすることが好ましい。成膜後は、レジスト層をリフトオフにより除去する。

#### 【0221】

レジスト層を除去したら、上部シールド層を形成するための前処理として、例えばCMP加工又はイオンミリング等により第2上部非磁性金属膜642及び第2絶縁層64の上面を平坦化した後、第2上部非磁性金属膜642及び第2絶縁層64上に、上部シールド層50を成膜する。これにより、図29～図31に示されるCPP-GMRヘッド601が完成する。

#### 【0222】

本第6実施形態によっても、上記第5実施形態と全く同様の効果が得られる。

#### 【0223】

図36～図38は、本発明によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド(CPP-GMRヘッド)の第7実施形態を示している。

#### 【0224】

第7実施形態は、第1固定磁性層だけでなく固定磁性層全体(第1固定磁性層、非磁性中間層及び第2固定磁性層のすべて)がGMR素子部(フリー磁性層及び非磁性材料層)よりもトラック幅方向及びハイト方向に長く形成されている点で、第5及び第6実施形態と異なる。ハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層の上面に接する反強磁性層を備え

た点では、第5及び第6実施形態と同じである。

【0225】

図36はCPP-GMRヘッド701の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図37はCPP-GMRヘッド701の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図38はGMR素子を上から見て示す模式平面図である。図36～図38において、図26～図28に示す第5実施形態と同一の符号を付した層の機能、形成材料及び膜厚は、第5実施形態と同じである。

【0226】

GMR素子730は、下から順番にフリー磁性層733、非磁性材料層732第2固定磁性層731c、非磁性中間層731b及び第1固定磁性層731aを有している。このフリー磁性層733、非磁性材料層732第2固定磁性層731c、非磁性中間層731b及び第1固定磁性層731aは、第5実施形態のフリー磁性層533、非磁性材料層532第2固定磁性層531c、非磁性中間層531b及び第1固定磁性層531aにそれぞれ対応しており、第5実施形態と同じ形成材料及び膜厚で形成されている。

【0227】

第2固定磁性層731c、非磁性中間層731b及び第1固定磁性層731aは、上述したようにGMR素子部（フリー磁性層733及び非磁性材料層732）よりもトラック幅方向及びハイト方向に長く延ばして形成されている。これにより、第1固定磁性層731aと第2固定磁性層731cの間には、GMR素子部外であっても、非磁性中間層731bを介したRKKY的相互作用による結合磁界が生じている。よって、第1固定磁性層531aのみを長く形成した第5実施形態よりも、第2固定磁性層731cの磁化を強固に固定することができ、固定磁性層731の磁化固定がさらに強まる。

【0228】

反強磁性層734は、第5実施形態と同様に、第1固定磁性層731aとの界面に交換結合磁界を発生させ、この交換結合磁界によって第1固定磁性層731aの磁化をハイト方向と反平行方向に固定する。第2固定磁性層531bの磁化は、非磁性中間層531bを介したRKKY的相互作用により第1固定磁性層531aの磁化とは反平行状態となり、ハイト方向に固定される。

【0229】

また第2固定磁性層731c、非磁性中間層731b及び第1固定磁性層731aは、その高さ寸法 $h_2$ がトラック幅寸法 $T_w'$ よりも大きく、形状異方性によってもハイト方向に平行な方向に磁化が安定化されている。

【0230】

以上のCPP-GMRヘッド701は、上述した第5実施形態の製造方法を応用して形成することができる。具体的に説明すると、まず、GMR素子を構成する層の一部を下部シールド層10上に成膜する工程では、非磁性材料層732までを連続成膜しておく。次に、第5実施形態と同様に、形成すべきGMR素子730のトラック幅寸法 $T_w$ を規定する工程から、形成すべきGMR素子730の高さ寸法 $h_1$ を規定する工程までを順次行なう。そして、GMR素子を構成する層の残部を成膜する工程では、非磁性材料層732、バックフィルギャップ層770及び第2絶縁層64上に、第2固定磁性層731c、非磁性中間層731b及び第1固定磁性層731aを連続成膜する。第1固定磁性層731aを成膜した後の工程は、第5実施形態とすべて同一である。

【0231】

以上のように第7実施形態では、第1固定磁性層731aだけでなく第1固定磁性層731a、非磁性中間層731b及び第2固定磁性層731cのすべてがGMR素子部（フリー磁性層733及び非磁性材料層732）よりもトラック幅方向及びハイト方向に長く形成されているので、上述の第5実施形態及び第6実施形態よりも、RKKY的相互作用による第1固定磁性層731aと第2固定磁性層731cの磁化結合が強まり、固定磁性層731全体としての磁化固定がより強化される。

【0232】

また第7実施形態では、第2固定磁性層731cと非磁性中間層731bと第1固定磁性層731aが連続成膜されているので、不純物や外気などによって積層界面が汚染される虞がなく、RKKY的相互作用によって第1固定磁性層731aと第2固定磁性層731cの間に生じる結合磁界の劣化を防止することができる。これにより、固定磁性層731の磁化固定をさらに強化できる。

#### 【0233】

図39～図41は、本発明によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド（CPP-GMRヘッド）の第8実施形態を示している。

#### 【0234】

第8実施形態は、第7実施形態と同様に、固定磁性層全体がGMR素子部よりもトラック幅方向及びハイト方向に長く形成され、ハイト方向奥側に延長させた第1固定磁性層の上面に接する反強磁性層を備えたことを特徴としているが、第7実施形態とは異なる製造方法で形成されている。

#### 【0235】

図39はCPP-GMRヘッド801の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図40はCPP-GMRヘッド801の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図41はGMR素子を上から見て示す模式平面図である。図39～図41において、図36～図38に示す第7実施形態と同一の符号を付した層の機能、形成材料及び膜厚は同じである。

#### 【0236】

CPP-GMRヘッド801では、上部非磁性金属膜840が、反強磁性層734の上面を覆う第1非磁性金属膜841と、この第1非磁性金属膜841及び第1固定磁性層731a上に形成された第2非磁性金属膜842により構成されている。第1非磁性金属膜841は、製造工程で行なうRIE（反応性イオンエッチング）時にストッパとして機能するもので、Crにより形成されている。この第1非磁性金属膜841と第2非磁性金属膜842の間には、第6実施形態と同様に、メタルマスク層が介在していてもいなくてもよい。第1非磁性金属膜841と第2非磁性金属膜842は、第6実施形態の第1非磁性金属膜641及び第2非磁性金属膜642にそれぞれ対応しており、第6実施形態と同じ形成材料及び膜厚で形成されている。本実施形態の上部非磁性金属膜840と第7実施形態の上部非磁性金属膜740との形状及び構成の違いは、異なる製造方法によって生じた違いであり、上部非磁性金属膜としての効果には異なることがない。

#### 【0237】

このCPP-GMRヘッド801は、上述した第6実施形態の製造方法を応用して形成することができる。具体的に説明すると、先ず、GMR素子を構成する層の一部を下部シールド層10上に成膜する工程では、非磁性材料層732までを連続成膜しておく。次に、第6実施形態と同様に、形成すべきGMR素子730の高さ寸法h1を規定する工程から、低エネルギーイオンビームエッチング等により表面クリーニングする工程までを順次行なう。そして、GMR素子を構成する層の残部を成膜する工程では、非磁性材料層732及びバックフィルギャップ層770上に、第2固定磁性層731c、非磁性中間層731b及び第1固定磁性層731aを連続成膜する。第1固定磁性層731aを成膜した後の工程は、第6実施形態とすべて同一である。

#### 【0238】

この第8実施形態によっても、上記第7実施形態と全く同様の効果を得ることができる。

#### 【0239】

図42は、本発明によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド（CPP-GMRヘッド）の第9実施形態を示している。このCPP-GMRヘッド901は、第2実施形態のCPP-GMRヘッド201において、反強磁性層234と第1バックフィルギャップ層271の替わりに、絶縁反強磁性層234'を備えている。絶縁反強磁性層234'は、例えばNi-O又は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等により形成されている。この絶縁反強磁性層234'にはセン



ス電流が流れることがないので、センス電流ロスを抑制でき、出力の向上を図ることができる。絶縁反強磁性層 234' 以外の構成は、第 2 実施形態と同様であり、図 6 に示す第 2 実施形態と同一の構成要素には同一符号を付してある。

#### 【0240】

上記第 CPP-GMR ヘッド 901 は、第 2 実施形態の製造工程で反強磁性層 234 と第 1 バックフィルギャップ層 271 を形成する際に、該反強磁性層 234 と第 1 バックフィルギャップ層 271 の替わりに、Ni-O 又は  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等からなる絶縁反強磁性層 234' を形成することにより、得られる。

#### 【0241】

図 43 は、本発明による CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド (CPP-GMR ヘッド) の第 10 実施形態を示している。この CPP-GMR ヘッド 1001 は、第 2 実施形態の CPP-GMR ヘッド 201 において、反強磁性層 234 と第 1 バックフィルギャップ層 271 の替わりに、第 2 固定磁性層 231c の上面に接する金属反強磁性層 236 と、この金属反強磁性層 236 の上に積層形成された絶縁反強磁性層 237 とを備えている。このように金属反強磁性層 236 と絶縁反強磁性層 237 を積層して備えれば、金属反強磁性層 236 を介して第 2 固定磁性層 231c と絶縁反強磁性層 237 の密着性が良好になってより大きな交換結合磁界を得ることができ、且つ、絶縁反強磁性層 237 によってセンス電流ロスを抑制して出力を向上させることができる。絶縁反強磁性層 237 は、Ni-O 又は  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等から形成し、金属反強磁性層 236 は、反強磁性層 34 と同様の反強磁性材料、例えば Pt-Mn 又は Ir-Mn 等により形成されている。

#### 【0242】

上記第 CPP-GMR ヘッド 1001 は、第 2 実施形態の製造工程で反強磁性層 234 と第 1 バックフィルギャップ層 271 を形成する際に、該反強磁性層 234 と第 1 バックフィルギャップ層 271 の替わりに、金属反強磁性層 236 と絶縁反強磁性層 237 を積層形成することにより、得られる。

#### 【0243】

図 44 ~ 図 48 は、本発明による CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド (CPP-GMR ヘッド) の第 11 実施形態を示している。

#### 【0244】

第 11 実施形態は、第 7 実施形態の CPP-GMR ヘッド 701 において、反強磁性層 734 を設けず、バックフィルギャップ層 770 の替わりに第 2 固定磁性層の下面に接する絶縁反強磁性層 1134 を備えている。

#### 【0245】

図 44 は CPP-GMR ヘッド 1101 の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図 45 は CPP-GMR ヘッド 1101 の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図 46 は GMR 素子を上から見て示す模式平面図である。図 44 ~ 図 46 において、図 36 ~ 図 38 に示す第 7 実施形態と同一の符号を付した層の機能、形成材料及び膜厚は、第 7 実施形態と同じである。

#### 【0246】

CPP-GMR ヘッド 1101 は、上部シールド層 50 及び下部シールド層 10 を介してセンス電流を膜厚方向に流したとき、GMR 効果を発揮する GMR 素子 1130 を備えている。GMR 素子 1130 は、下から順に、下部非磁性金属膜 520、フリー磁性層 1133、非磁性材料層 1132、固定磁性層 1131 (第 2 固定磁性層 1131c、非磁性中間層 1131b、第 1 固定磁性層 1131a)、上部非磁性金属膜 540 を有している。非磁性材料層 1132 及びフリー磁性層 1133 は、第 7 実施形態の非磁性材料層 732 及びフリー磁性層 733 と同じ形状、膜厚及び形成材料で形成されている。下部非磁性金属膜 520 は、GMR 素子 1130 の素子部で膜厚が厚く、素子部外で膜厚が薄くなっている。上部非磁性金属膜 540 は、固定磁性層 1131 と略同等の面積で該固定磁性層 1031 の上面を覆っている。

#### 【0247】

固定磁性層 1131 は、非磁性材料層 1132 及びフリー磁性層 1133 よりもハイト方向奥側に長く延びて形成されており、該ハイト方向奥側位置で絶縁反強磁性層 1134 に接している。本実施形態の固定磁性層 1131 は、非磁性材料層 1132 及びフリー磁性層 1133 とのアライメントを考慮して、トラック幅方向にも非磁性材料層 1132 及びフリー磁性層 1133 より長く延びて形成されている。すなわち、固定磁性層 1131 のトラック幅寸法  $R_{Tw}$  及び高さ寸法  $h_2$  は、GMR 素子 1130 のトラック幅寸法  $T_w$  及び高さ寸法  $h_1$  よりも大きくなっている。また固定磁性層 1131 は、トラック幅方向よりもハイト方向に長く形成されていて、形状異方性により磁化方向がハイト方向に平行な一軸方向に安定している。この固定磁性層 1131 を構成する第 2 固定磁性層 1131c は、絶縁反強磁性層 1134 との界面に生じた交換結合磁界により、磁化方向がハイト方向に反平行方向に固定されている。この第 2 固定磁性層 1131c と第 1 固定磁性層 1131a は、非磁性中間層 1131b を介した RKKY 的相互作用により、磁化が互いに反平行状態となっている。これにより、第 1 固定磁性層 1131a の磁化はハイト方向に固定される。本実施形態では、第 1 固定磁性層 1131a の単位面積あたりの磁気モーメント（飽和磁化  $M_s \times$  膜厚  $t$ ）を第 2 固定磁性層 1131c の単位面積あたりの磁気モーメントよりも大きくしてあるので、固定磁性層 1131 の全体としての磁化方向は第 1 固定磁性層 1131a の磁化方向に等しくなる。図 44 では、第 1 固定磁性層 1131a の磁化方向を太い矢印で、第 2 固定磁性層 1131c の磁化方向を細い矢印でそれぞれ示してある。

#### 【0248】

絶縁反強磁性層 1134 は、例えば  $Ni-O$  又は  $\alpha-Fe_2O_3$  等により形成されており、電流を流さない。これにより、非磁性材料層 1132 及びフリー磁性層 1133 のハイト方向奥側位置で、絶縁反強磁性層 1134 が第 2 固定磁性層 1131c の下面に接触して備えられていても、GMR 素子 1130 を流れるセンス電流が絶縁反強磁性層 1134 側へ流れ込むことがなく、センス電流のロスを増やすこともない。また絶縁反強磁性層 1034 が発熱することなく、ジュール熱の発生を抑制可能である。

#### 【0249】

図 47 及び図 48 を参照し、図 44～図 46 に示す CPP-GMR ヘッド 1101 の製造方法の一実施形態について説明する。図 47 及び図 48 (b) は、CPP-GMR ヘッド 1101 の製造工程を素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図であり、図 48 (a) は同製造工程を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。各層の形成材料及び膜厚は、完成状態の CPP-GMR ヘッド 1101 と同一である。

#### 【0250】

先ず、下から順に下部シールド層 10、下部非磁性金属膜 520、フリー磁性層 1133 及び非磁性材料層 1132 を真空中でベタ膜上に連続成膜する。次に、非磁性材料層 1132 の上に、形成すべき GMR 素子 1130 のトラック幅寸法  $T_w$  を規定するリフトオフ用のレジスト層を形成する。レジスト層を形成したら、該レジスト層に覆われていない非磁性材料層 1132、フリー磁性層 1133 及び下部非磁性金属膜 520 の一部をイオンミリング等により除去する。この工程により、下部非磁性金属膜 520 は、トラック幅方向のほぼ中央部が両端部よりも膜厚が大きくなり、この中央部上にフリー磁性層 1133 と非磁性材料層 1132 が略台形状となって残される。また、フリー磁性層 1133 と非磁性材料層 1132 のトラック幅方向の寸法は、GMR 素子 30 のトラック幅寸法  $T_w$  に等しくなる。なお、下部非磁性金属膜 520、フリー磁性層 1133 及び非磁性材料層 1132 の両側端面にはイオンミリングで除去された物質の一部が再付着するので、この再付着物を再度ミリングで除去することが好ましい。

#### 【0251】

続いて、上記レジスト層を残したまま、下部非磁性金属膜 520 の両端部上に、第 1 絶縁層 61、バイアス下地層 62、ハードバイアス層 63 及び第 2 絶縁層 64 を連続でスパッタ成膜する。スパッタ成膜時におけるスパッタ粒子角度は、下部非磁性金属膜 520 に対してほぼ垂直方向とすることが好ましい。スパッタ成膜後はレジスト層を除去する。

## 【0252】

続いて、図47に示すように、非磁性材料層1132の上に、形成すべきGMR素子1130の高さ寸法 $h_1$ を規定するレジスト層R2を形成し、レジスト層R2に覆われていない非磁性材料層1132、フリー磁性層1133及び下部非磁性金属膜520の一部を例えばイオンミリングにより除去し、この除去部分に、絶縁反強磁性層1134を形成する。上記イオンミリング工程により、非磁性材料層1132及びフリー磁性層1133は、GMR素子1130となる素子部にのみ残される。非磁性材料層1132とフリー磁性層1133のハイト方向奥側の端面位置は、滑らかに連続している。絶縁反強磁性層1134の形成後は、レジスト層R2を除去する。

## 【0253】

続いて、絶縁反強磁性層1134、非磁性材料層1132及び第2絶縁層62の上に、第2固定磁性層1131c、非磁性中間層1131b、第1固定磁性層1131a及び上部非磁性金属膜540を順に連続成膜する。そして、図48に示すように、上部非磁性金属膜540の上に、固定磁性層1131のトラック幅方向の寸法 $RTw$ を規定するレジスト層R3を形成し、このレジスト層R3に覆われていないキャップ層1136、第1固定磁性層1131a、非磁性中間層1131b及び第2固定磁性層1131cを例えばイオンミリング等により除去した後、レジスト層R3を除去する。この工程により、非磁性材料層32の上に、該非磁性材料層32よりもトラック幅方向の寸法及びハイト方向の寸法が大きい固定磁性層1131（第2固定磁性層1131c、非磁性中間層1131b、第1固定磁性層1131a）と上部非磁性金属膜540が残り、GMR素子1130が形成される。固定磁性層1131及び上部非磁性金属膜540のトラック幅方向の両端位置には、第2絶縁層64が露出している。本実施形態では、フリー磁性層1133及び非磁性材料層1132と固定磁性層1131とのアライメントをとるため、固定磁性層1131のトラック幅方向の寸法 $RTw$ をGMR素子30のトラック幅寸法 $Tw$ よりも長く設定してある。

## 【0254】

続いて、ハイト方向（図示Y方向）の磁場中でアニール処理を施し、絶縁反強磁性層1134と第2固定磁性層1131cの界面にそれぞれ交換結合磁界を発生させる。このとき、アニール温度は例えば270℃程度であり、印加磁界の大きさは800kA/m程度である。この磁場中アニール処理により、第2固定磁性層1131cの磁化方向はハイト方向に対して反平行方向に固定され、第1固定磁性層1131aの磁化方向はハイト方向に固定される。

## 【0255】

アニール処理後は、露出している第2絶縁層64及び上部非磁性金属膜540上に、固定磁性層31及び上部非磁性金属膜540の露出面を覆う上部シールド層50をスパッタ成膜する。

## 【0256】

以上により、図44～図46に示すCPP-GMRヘッド1101が完成する。

## 【0257】

以上の第9～第11実施形態によっても、固定磁性層231、731、1131の磁化を強固に固定することができ、センス電流密度を高くして高出力化を図ることが可能である。また、センス電流を流しても反強磁性層234、734及び絶縁反強磁性層1131が発熱することがなく、素子温度の上昇が抑制されて信頼性が向上する。さらに記録媒体との対向面でシールド間隔 $R-G_L$ を図55に示す従来よりも狭くすることができ、高分解能化を図ることができる。

## 【0258】

上記第9～第11実施形態と同様に、上述の第3～第8実施形態においても、反強磁性層に替えて絶縁反強磁性層を用いることができる。また、第5～第8実施形態のように固定磁性層の上面に絶縁反強磁性層を備える場合には、該固定磁性層と絶縁反強磁性層との間に金属反強磁性層を介在させることにより、より大きな交換結合磁界を得ることができ

る。なお、絶縁反強磁性層は、金属反強磁性層に比べてブロッキング温度が低い傾向にあるが、該絶縁反強磁性層はGMR素子外に配置されていて過度に高温にならないので、絶縁反強磁性層を用いることによる不具合が生じることもない。

#### 【0259】

図49～図51は、本発明によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド（CPP-GMRヘッド）の第12実施形態を示している。

#### 【0260】

第12実施形態は、上記説明した第1～第11実施形態のようなシングルスピンバルブタイプではなく、デュアルスピンバルブタイプのCPP-GMRヘッドに本発明を適用したものである。

#### 【0261】

図49はCPP-GMRヘッド1201の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図50はCPP-GMRヘッド1201の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図51はGMR素子を上から見て示す模式平面図である。

#### 【0262】

CPP-GMRヘッド1201は、図14～図16に示す第3実施形態の構造と図36～図38に示す第7実施形態の構造を上下に組み合わせた積層構造を有するデュアルスピンバルブタイプである。図49～図51において、図14～図16に示す第3実施形態及び図36～図38に示す第7実施形態と同一の符号を付した層の機能、形状、形成材料及び膜厚は、第3実施形態及び第7実施形態と同じである。CPP-GMRヘッド1201の各層については、図14～図16に示す第3実施形態及び図36～図38に示す第7実施形態でそれぞれ説明してあるので、そちらを参照されたい。なお、本実施形態では、上部非磁性金属膜540が反強磁性層734上及びバックフィルギャップ層770上まで延びて形成されているが、上部非磁性金属膜240としての効果には異なるところがない。

#### 【0263】

このCPP-GMRヘッド1201は、第3実施形態と同じ製造方法で下部シールド層10上に、下部非磁性金属膜220からバックフィルギャップ層770までを形成した後、第7実施形態と同じ製造方法で第2固定磁性層731cから上部シールド層10までを形成することにより、得られる。

#### 【0264】

上記CPP-GMRヘッド1201において、上部第1固定磁性層731aの上面に接している反強磁性層334は、センス電流ロスを防止するため、絶縁反強磁性層で形成されていることがより好ましい。反強磁性層334が絶縁反強磁性層であれば、下部第1固定磁性層331aの下面に接している反強磁性層734は金属反強磁性層によって形成することができる。

#### 【0265】

図52～図54は、本発明によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド（CPP-GMRヘッド）の第13実施形態を示している。

#### 【0266】

図52はCPP-GMRヘッド1301の構造を素子中央で切断して示す部分断面図、図53はCPP-GMRヘッド1301の構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、図54はGMR素子を上から見て示す模式平面図である。

#### 【0267】

CPP-GMRヘッド1301は、図42に示す第9実施形態の構造と図44～図46に示す第11実施形態の構造を上下に組み合わせた積層構造を有するデュアルスピンバルブタイプである。図52～図54において、図42及び図44～図46と同一の符号を付した層の機能、形状、形成材料及び膜厚は、第9実施形態及び第11実施形態と同じである。CPP-GMRヘッド1301の各層については、上述の第9実施形態及び第11実施形態でそれぞれ説明してあるので、そちらを参照されたい。

#### 【0268】

このCPP-GMRヘッド1301は、第9実施形態と同じ製造方法で下部シールド層10上に、下部非磁性金属膜220からフリー磁性層233までを形成した後、第11実施形態と同じ製造方法で上部非磁性材料層732から上部シールド層10までを形成することにより、得られる。

#### 【0269】

上記CPP-GMRヘッド1301では、フリー磁性層233及び非磁性材料層232、732よりもハイト方向奥側で下部固定磁性層231と上部固定磁性層731に接する反強磁性層234'に替えて、下部固定磁性層231に接する金属反強磁性層と、上部固定磁性層731に接する絶縁反強磁性層とを備えることもできる。この態様によれば、センス電流ロスを抑制しつつ、絶縁反強磁性層と下部固定磁性層の結合を良好にすることができる。

#### 【0270】

以上の第12及び第13実施形態によっても、固定磁性層231、731の磁化を強固に固定することができ、センス電流密度を高くして高出力化を図ることが可能である。また、センス電流を流しても反強磁性層234、734が発熱することがなく、素子温度の上昇が抑制されて信頼性が向上する。さらに記録媒体との対向面でシールド間隔R-GLを図55に示す従来よりも狭くすることができ、高分解能化を図ることができる。

#### 【0271】

上記各実施形態のCPP-GMRヘッドは、再生用薄膜磁気ヘッドのみでなく、この再生用薄膜磁気ヘッド上にさらに記録用のインダクティブヘッドを積層した録再用薄膜磁気ヘッドにも適用可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0272】

【図1】本発明の第1実施形態であるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッド(CPP-GMRヘッド)の構造を、記録媒体との対向面から見て示す縦断面図である。

【図2】図1の上部大面積非磁性金属膜及び下部大面積非磁性金属膜とGMR素子の形成範囲を示すXY平面図である。

【図3】図1のIII-III線に沿って切断した断面図である。

【図4】上部シールド層から下部シールド層に向かってセンス電流を流したときに生じる電流経路を示す概念図である。

【図5】図1に示すCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドの製造方法の一工程を示す縦断面図である。

【図6】本発明の第2実施形態によるCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図7】図6に示すCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図8】図6に示すGMR素子を上から見て示す模式平面図である。

【図9】図6～図8に示すCPP型巨大磁気抵抗効果ヘッドの製造方法の一工程を、(a)記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、(b)素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図10】図9に示す工程後に行なう一工程を、(a)記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、(b)素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図11】図10に示す工程後に行なう一工程を、(a)記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、(b)素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図12】図11に示す工程後に行なう一工程を、(a)記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、(b)素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図13】センス電流磁界の向きと固定磁性層の合成磁気モーメントの向きを説明する模式図である。

【図14】本発明の第3実施形態によるC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図15】図14に示すC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図16】図14に示すGMR素子を上から見て示す模式平面図である。

【図17】図14～図16に示すC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの製造方法の一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図18】図17に示す工程後に行なう一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図19】図18に示す工程後に行なう一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図20】本発明の第4実施形態によるC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図21】図20に示すC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図22】図20に示すGMR素子を上から見て示す模式平面図である。

【図23】第1固定磁性層と磁歪増強層とが整合しつつ、その結晶構造に歪みが生じている様子を示す模式図である。

【図24】図20～図22に示すC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの製造方法の一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図25】図24に示す工程後に行なう一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図26】本発明の第5実施形態によるC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図27】図26に示すC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図28】図26に示すGMR素子を上から見て示す平面図である。

【図29】本発明の第6実施形態によるC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図30】図29に示すC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図31】図29に示すGMR素子を上から見て示す模式平面図である。

【図32】図29～図31に示すC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの製造方法の一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図33】図32に示す工程後に行なう一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図34】図33に示す工程後に行なう一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図35】図34に示す工程後に行なう一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図36】本発明の第7実施形態によるC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図37】図36に示すC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図38】図36に示すGMR素子を上から見て示す模式平面図である。

【図39】本発明の第8実施形態によるC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図40】図39に示すC P P型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向

面側から見て示す部分断面図である。

【図 4 1】図 3 9 に示す GMR 素子を上から見て示す模式平面図である。

【図 4 2】本発明の第 9 実施形態による CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図 4 3】本発明の第 10 実施形態による CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図 4 4】本発明の第 11 実施形態による CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図 4 5】図 4 4 に示す CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図 4 6】図 4 4 に示す GMR 素子を上から見て示す模式平面図である。

【図 4 7】図 4 4 ～図 4 6 に示す CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの製造方法の一工程を、素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図 4 8】図 4 7 に示す工程後に行なう一工程を、(a) 記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図、(b) 素子部中央でハイト方向に平行に切断して示す部分断面図である。

【図 4 9】本発明の第 12 実施形態による CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図 5 0】図 4 9 に示す CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図 5 1】図 4 9 に示す GMR 素子を上から見て示す模式平面図である。

【図 5 2】本発明の第 13 実施形態による CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を素子中央で切断して示す部分断面図である。

【図 5 3】図 5 2 に示す CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見て示す部分断面図である。

【図 5 4】図 5 2 に示す GMR 素子を上から見て示す模式平面図である。

【図 5 5】従来の CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッドの構造を、記録媒体との対向面から見て示す縦断面図である。

【符号の説明】

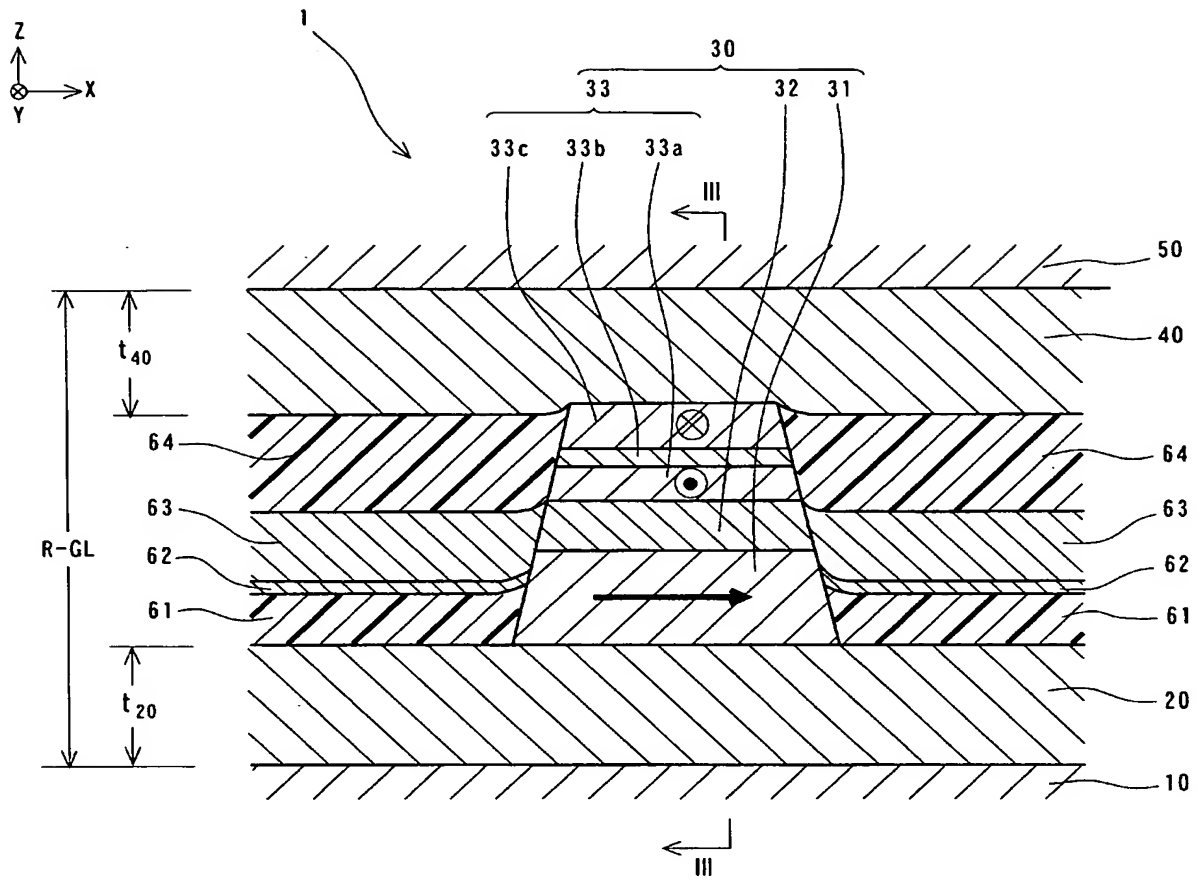
【0273】

- 1 CPP-GMR ヘッド (CPP 型巨大磁気抵抗効果ヘッド)
- 10 下部シールド層
- 20 下部大面積非磁性金属膜
- 30 GMR 素子 (巨大磁気抵抗効果素子)
- 31 フリー磁性層
- 32 非磁性材料層
- 33 固定磁性層
- 33a 第 2 固定磁性層
- 33b 非磁性中間層
- 33c 第 1 固定磁性層
- 34 反強磁性層
- 40 上部大面積非磁性金属膜
- 50 上部シールド層
- 61 第 1 絶縁層
- 62 バイアス下地層
- 63 ハードバイアス層
- 64 第 2 絶縁層
- 201、301、401 CPP-GMR ヘッド
- 220、520 下部非磁性金属膜
- 230、330、530、730、1130 GMR 素子

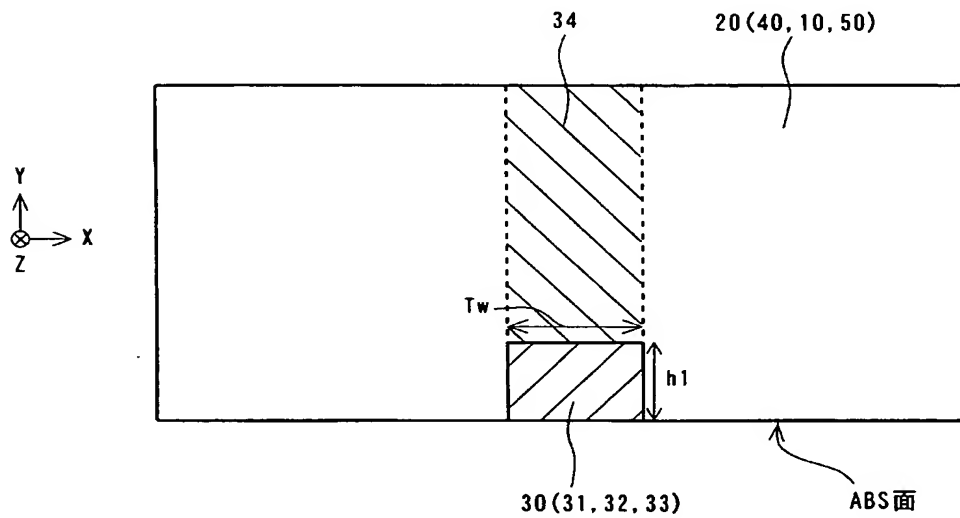


231、331、531、731、1131 固定磁性層  
231a、331a、531a、731a、1131a 第1固定磁性層  
231b、331b、531b、731b、1131b 非磁性中間層  
231c、331c、531c、731c、1131c 第2固定磁性層  
232、332、532、732、1132 非磁性材料層  
233、333、533、733、1133 フリー磁性層  
234、334、534、734 反強磁性層  
234'、236、1134 絶縁反強磁性層  
237 金属反強磁性層  
240、540、640、840 上部非磁性金属膜  
271 第1バックフィルギャップ層  
272 第2バックフィルギャップ層  
370、570、770 バックフィルギャップ層  
434 磁歪増強層  
440 Ru層  
501、601、701、801 CPP-GMRヘッド  
641、841 第1上部非磁性金属膜  
641a Ta膜  
641b Cr膜  
642、842 第2上部非磁性金属膜  
650 メタルマスク層  
901 CPP-GMRヘッド  
R1、R2、R3 レジスト層  
Tw GMR素子のトラック幅寸法  
Tw' 固定磁性層のトラック幅寸法  
h1 GMR素子の高さ寸法  
h2 固定磁性層の高さ寸法

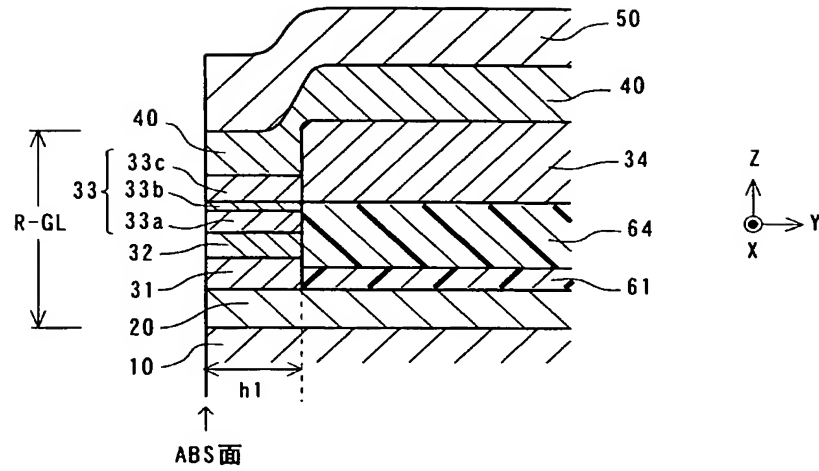
【書類名】 図面  
【図 1】



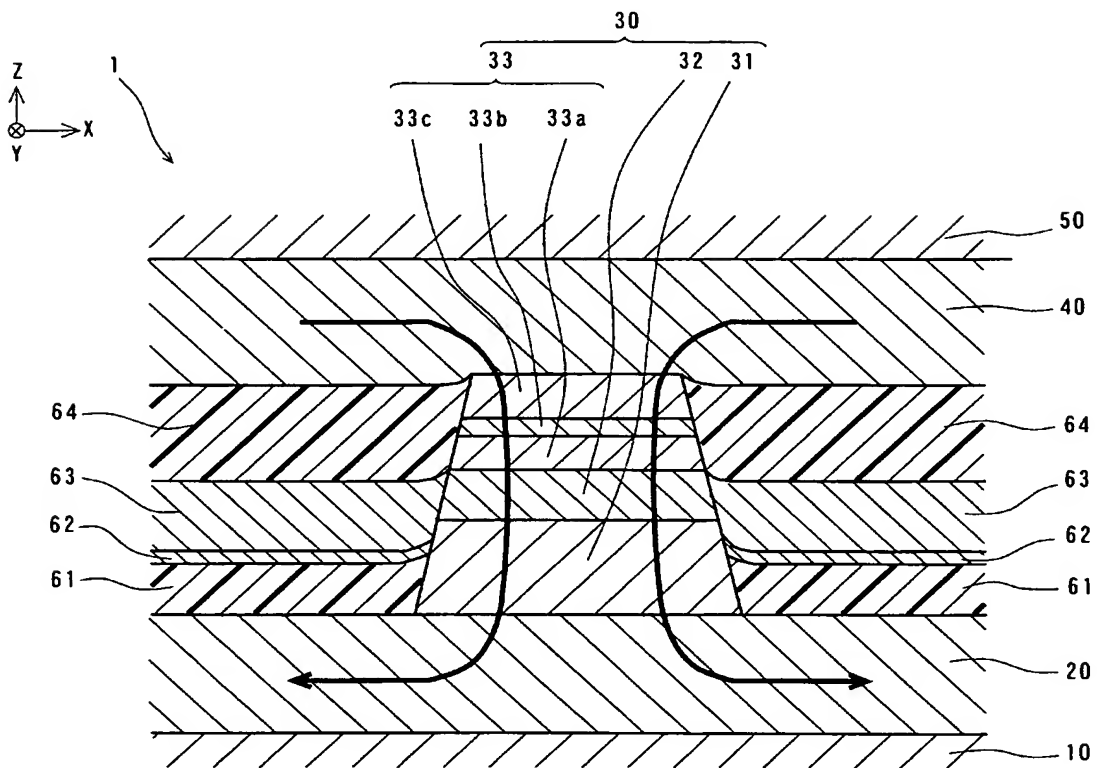
【図 2】



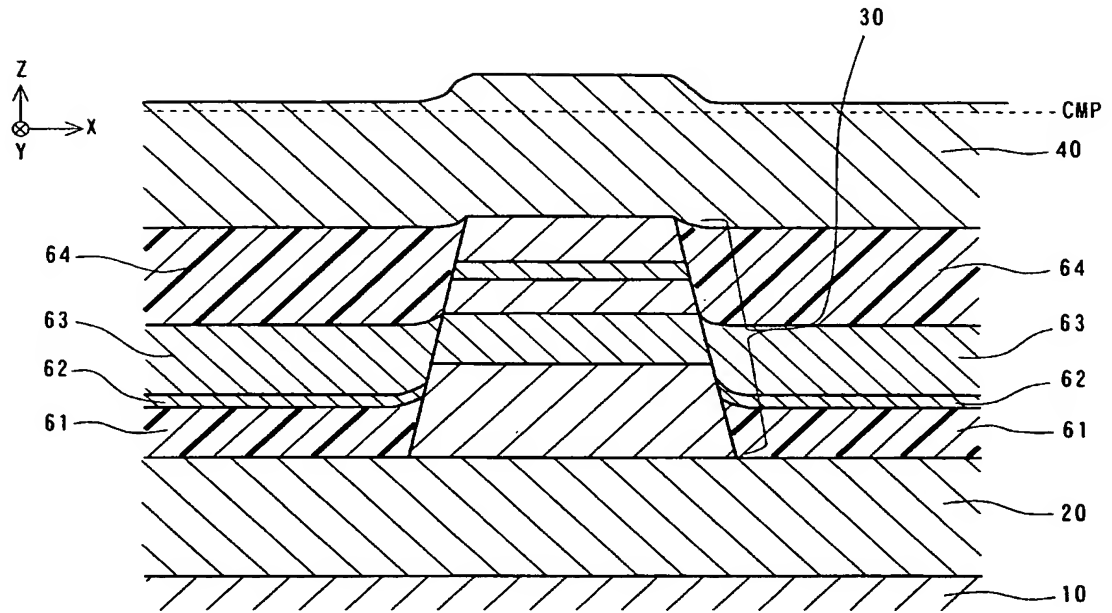
【図 3】



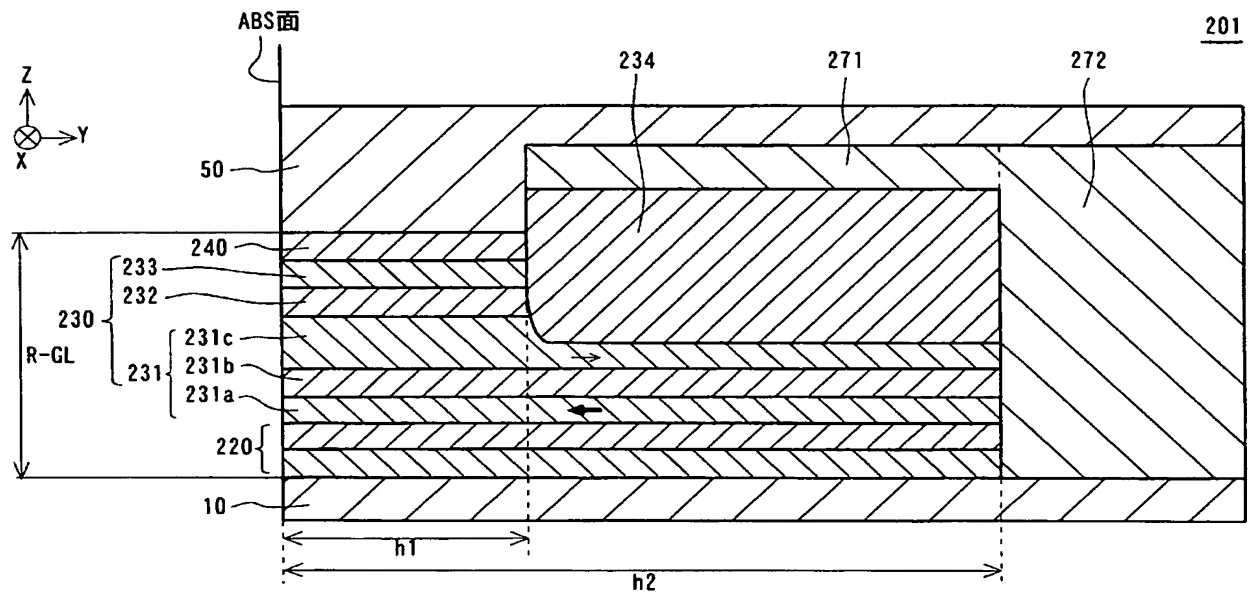
【図 4】



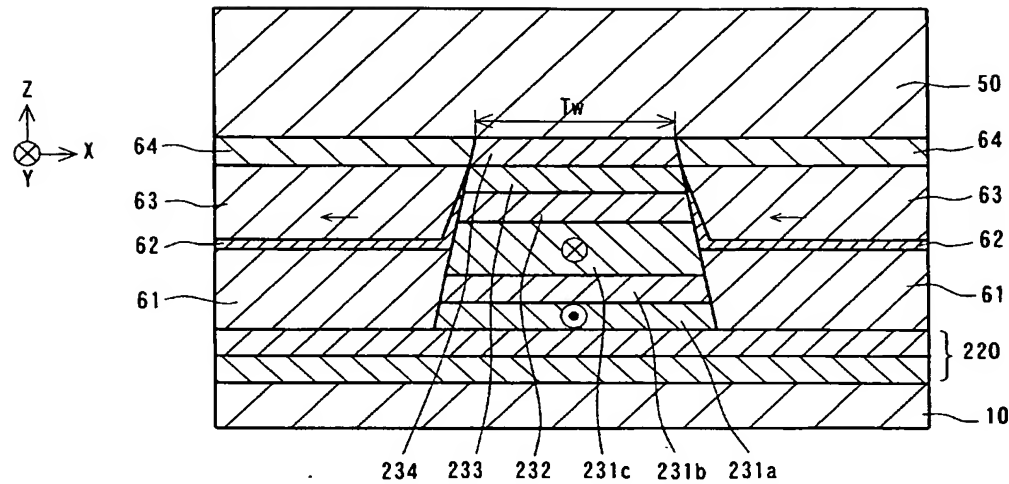
【図 5】



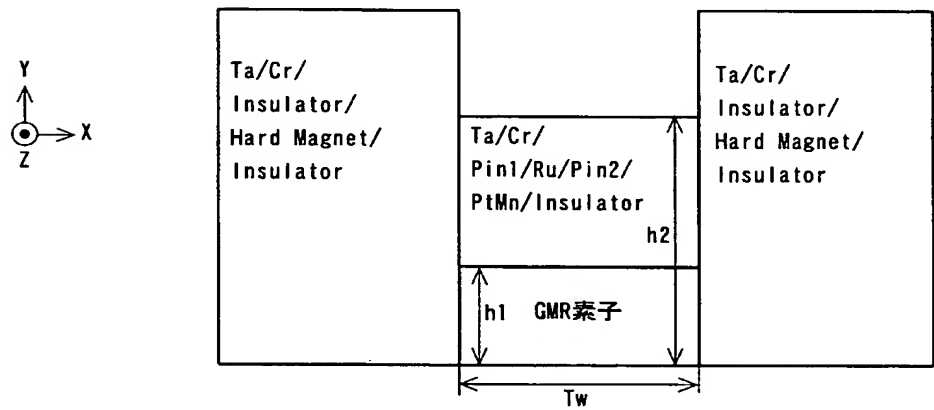
【図 6】



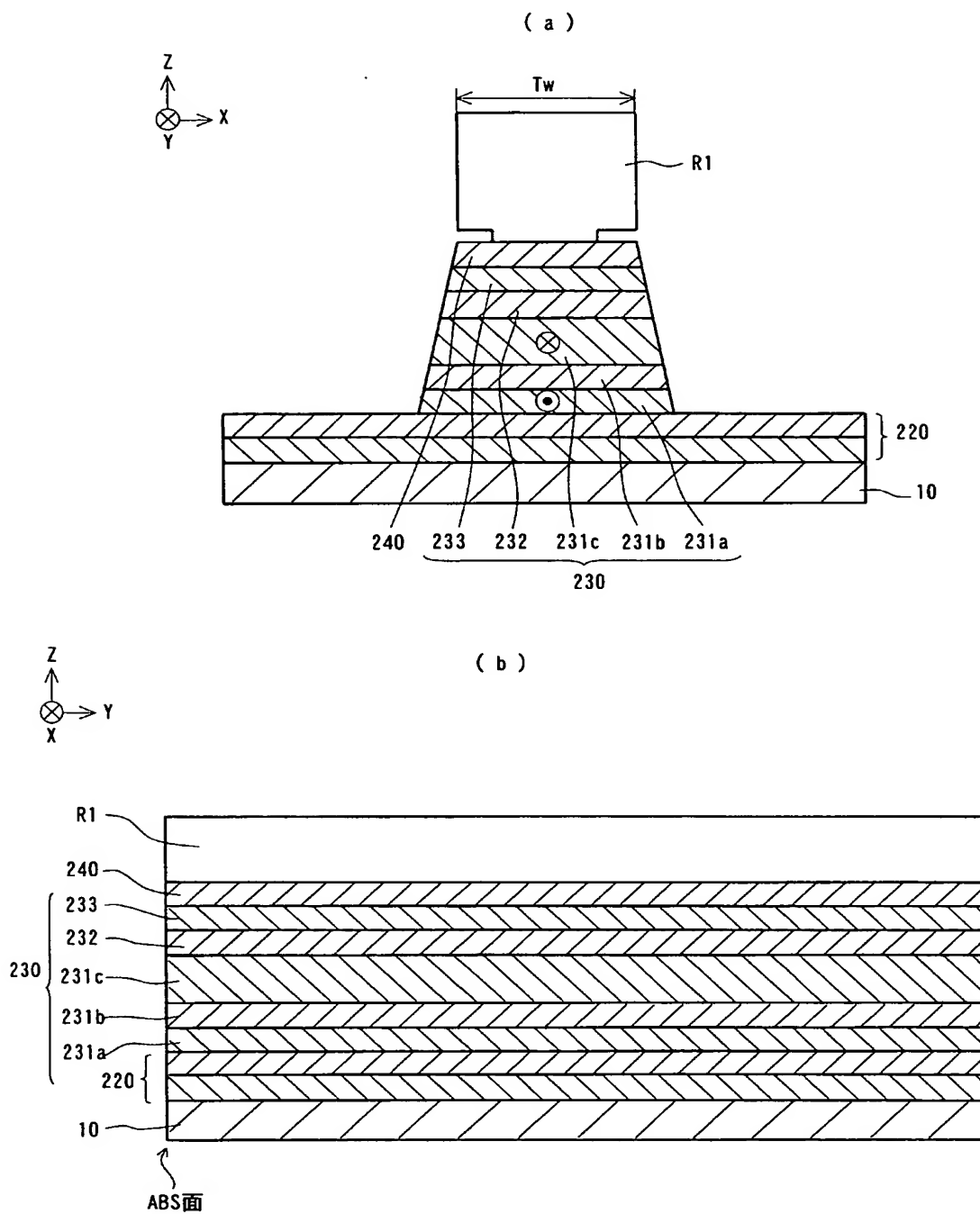
【図 7】



【図 8】

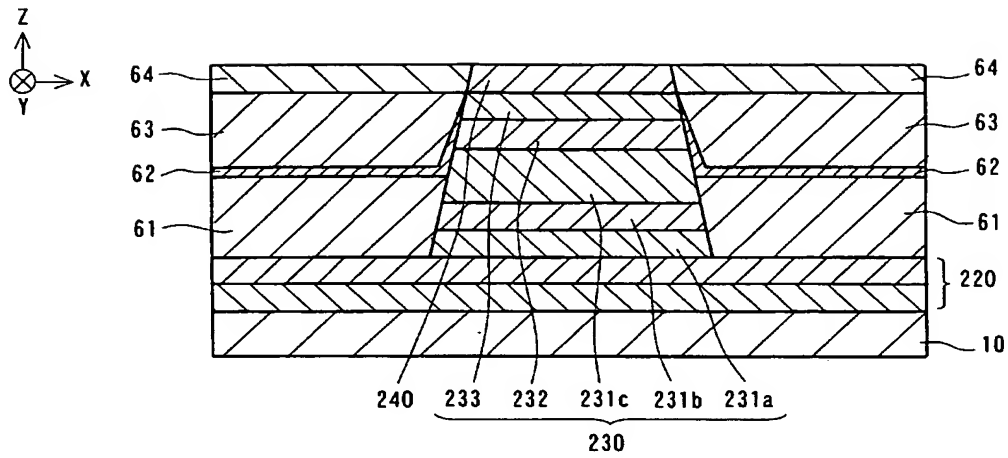


【図 9】

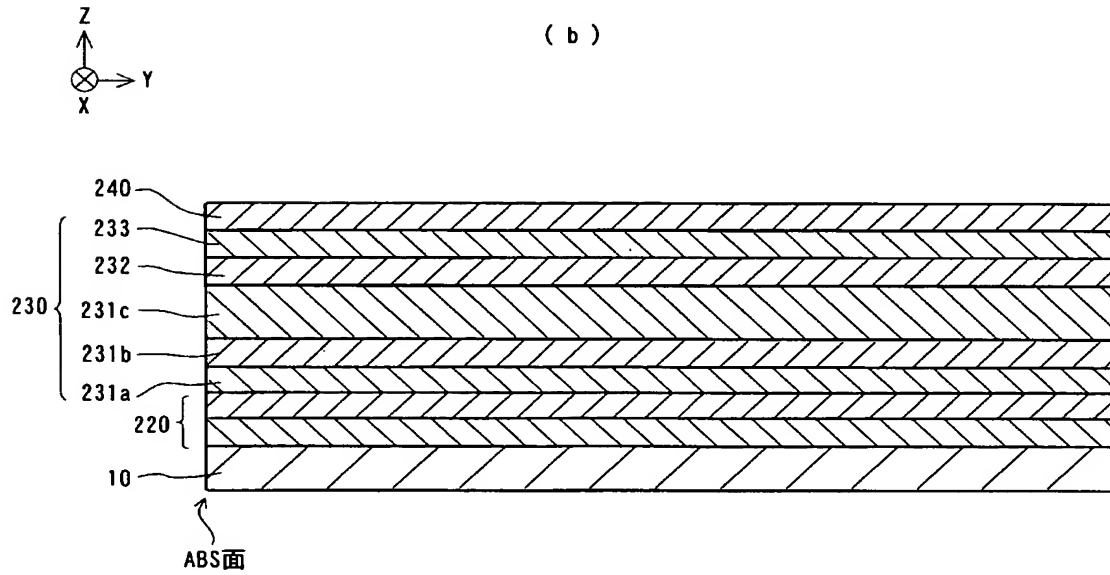


【図 10】

( a )

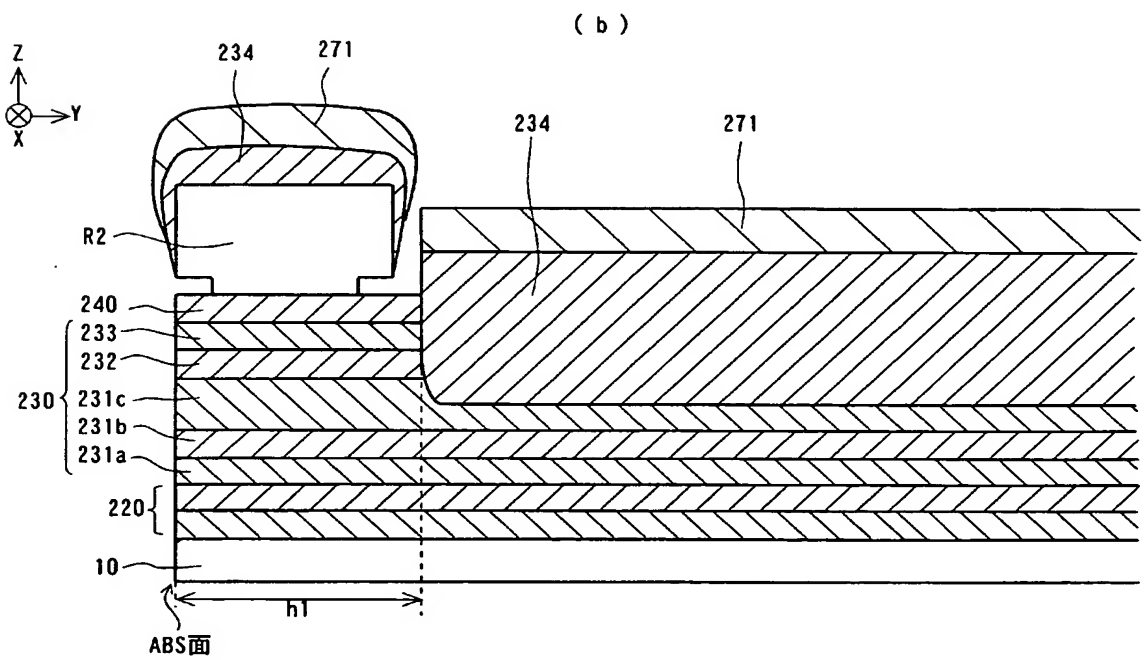
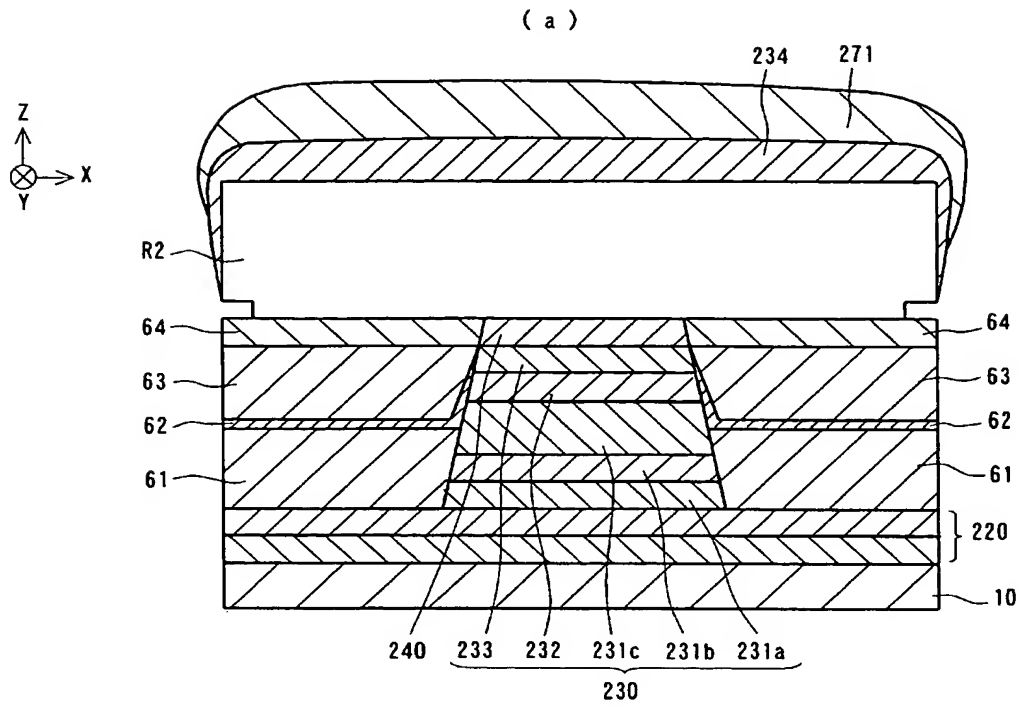


( b )

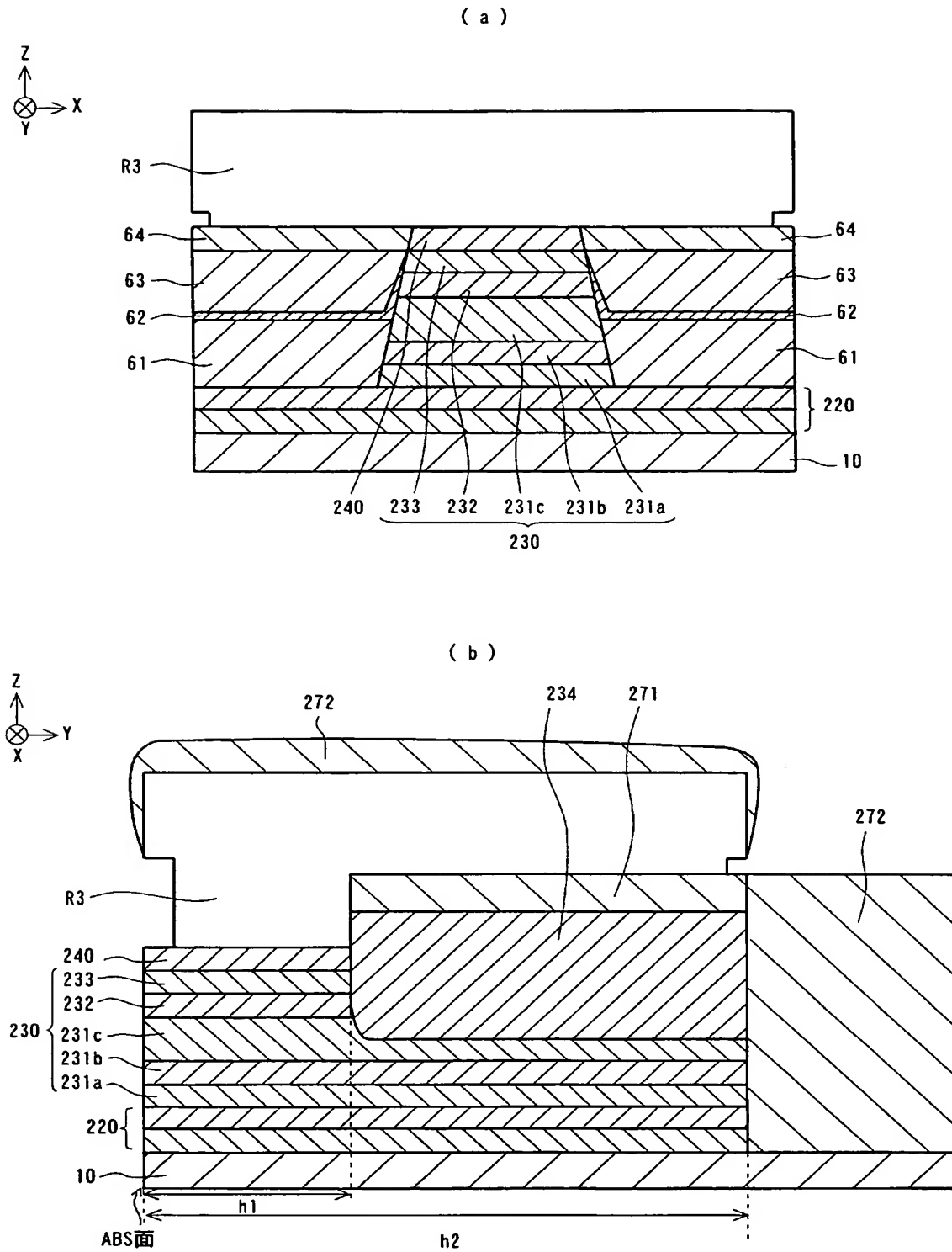




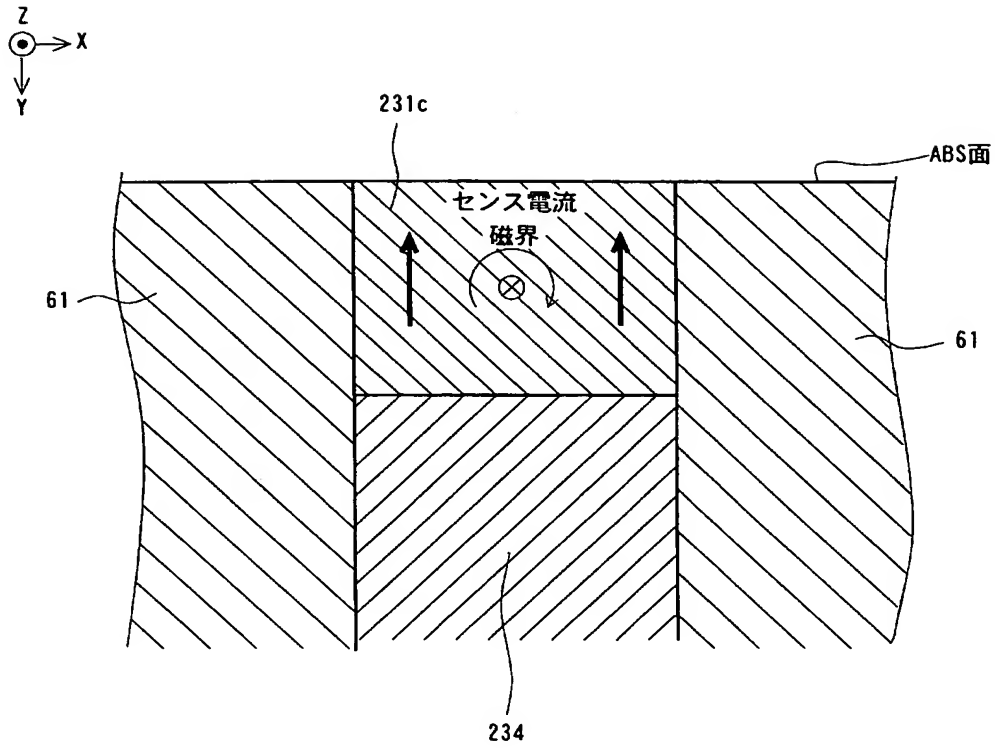
【図 11】



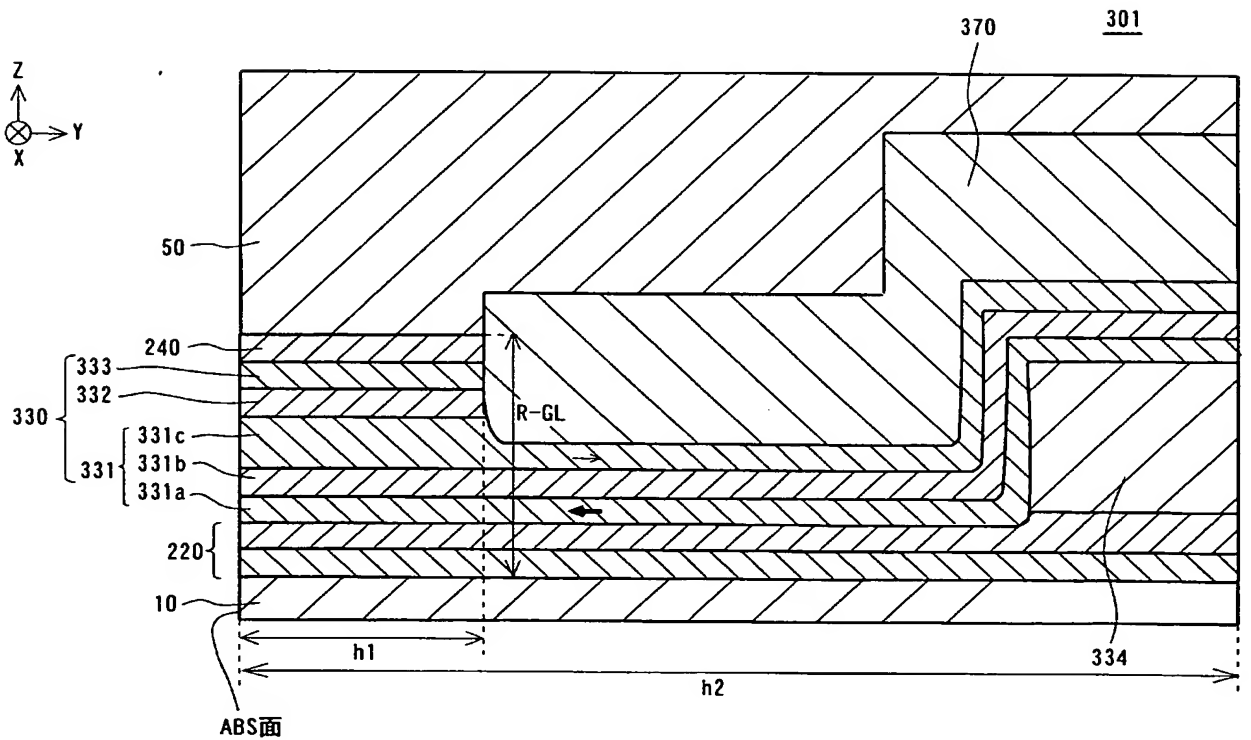
【図 12】



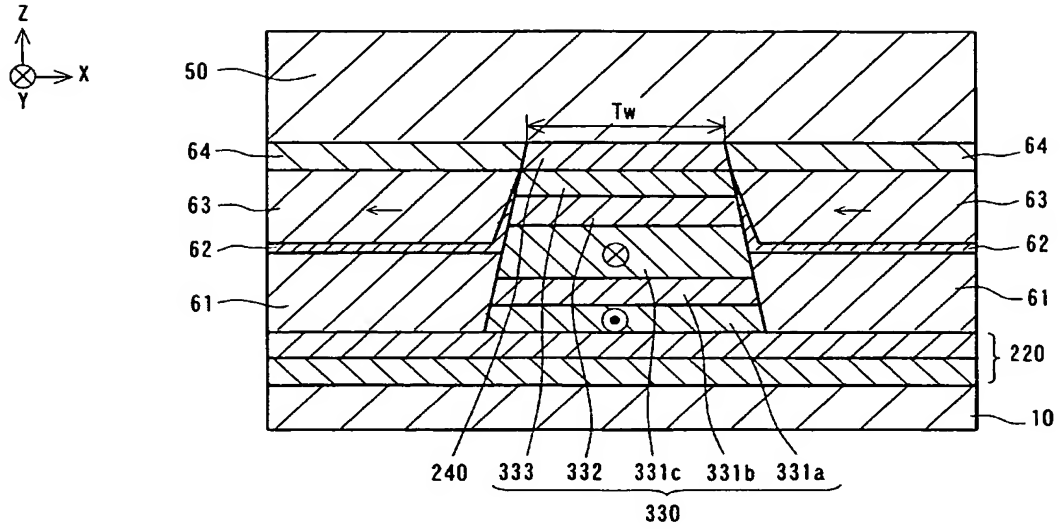
【図 13】



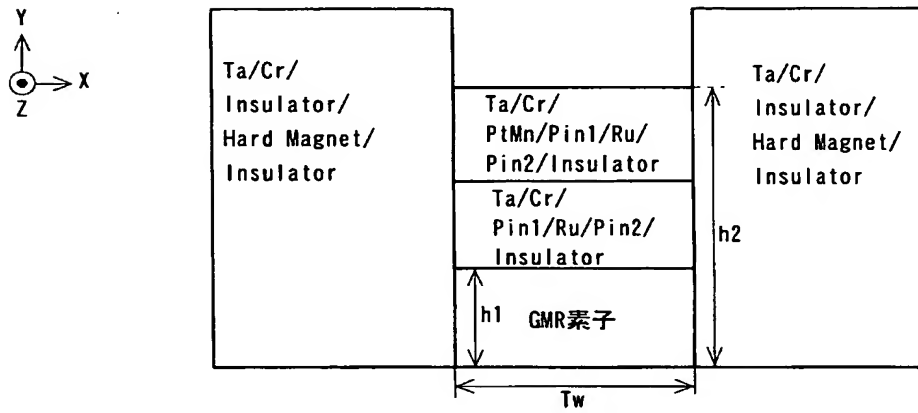
【図 14】



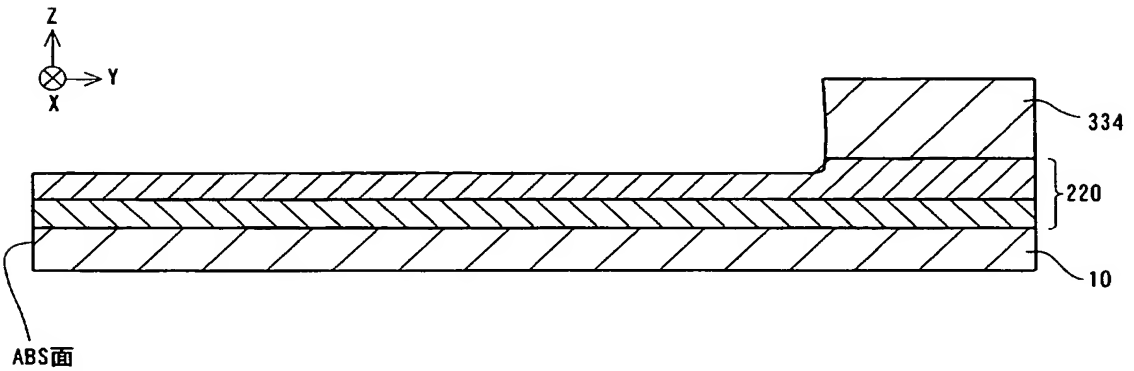
【図 15】



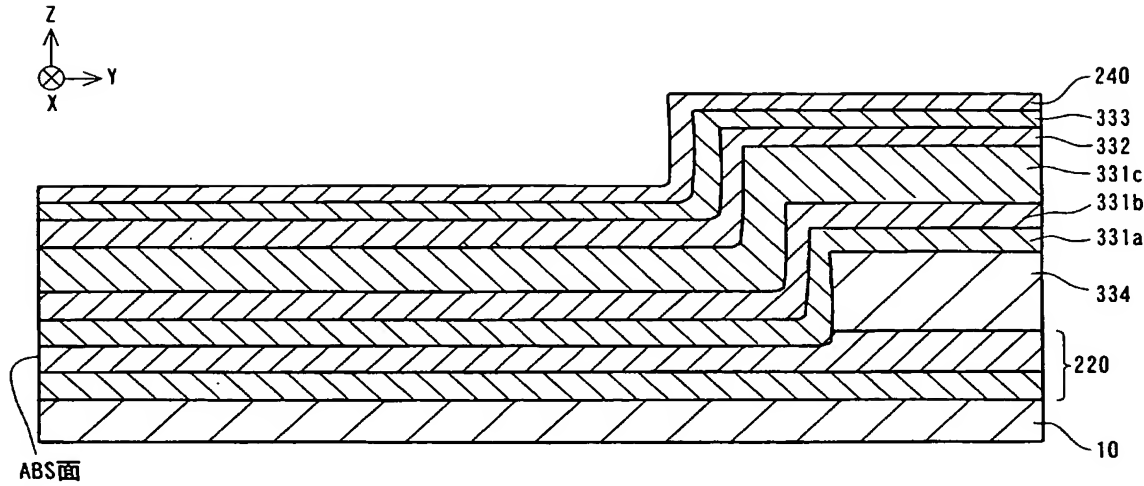
【図 16】



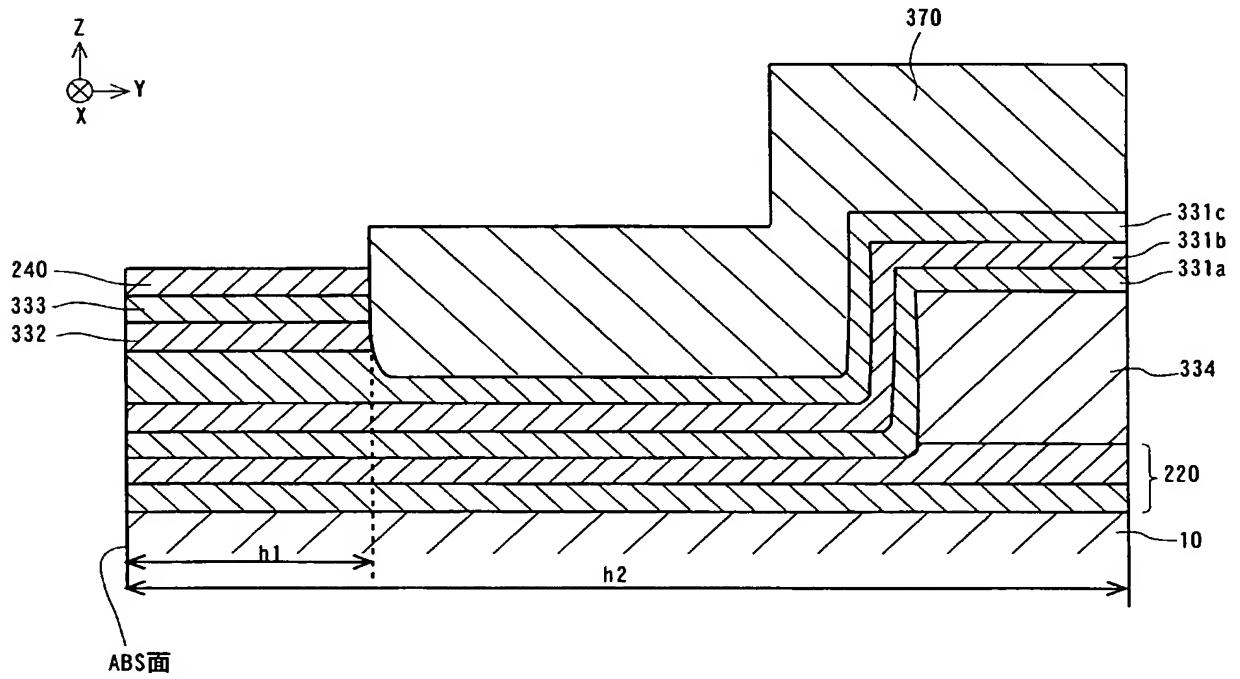
【図 17】



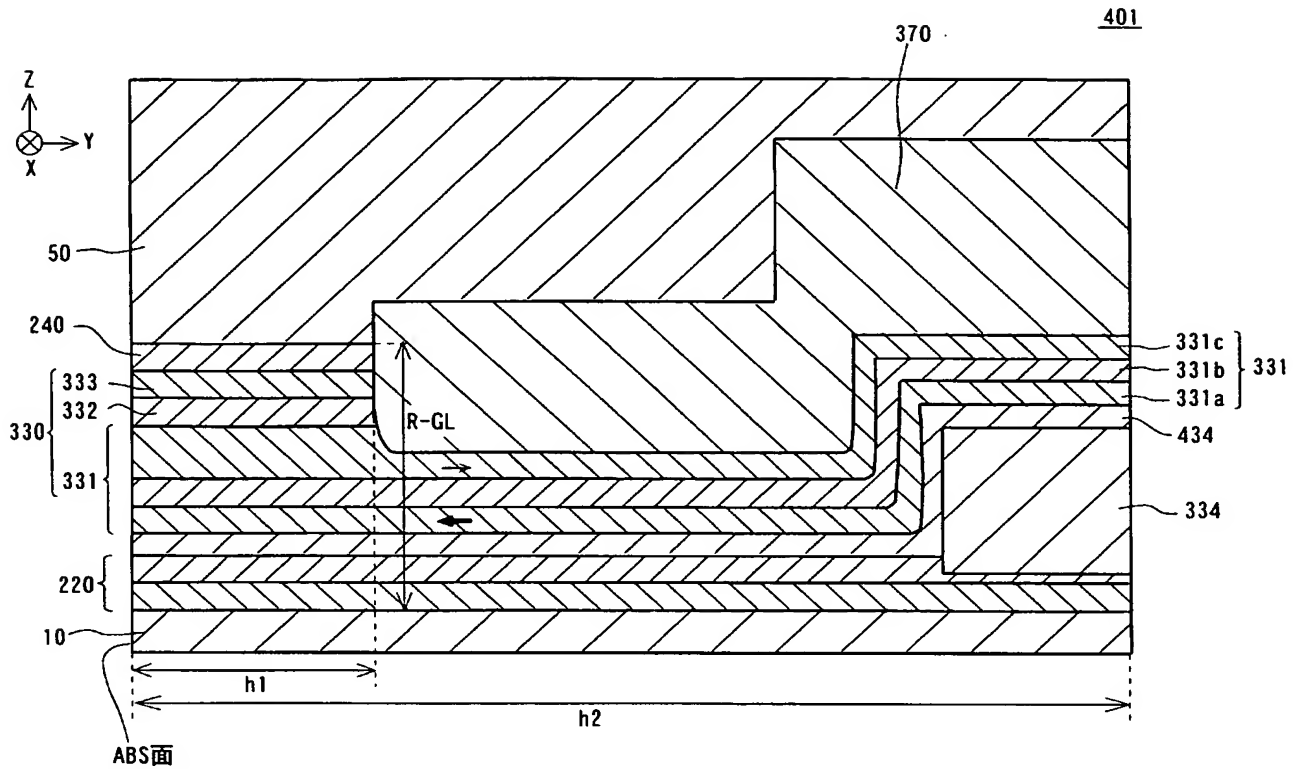
【図 18】



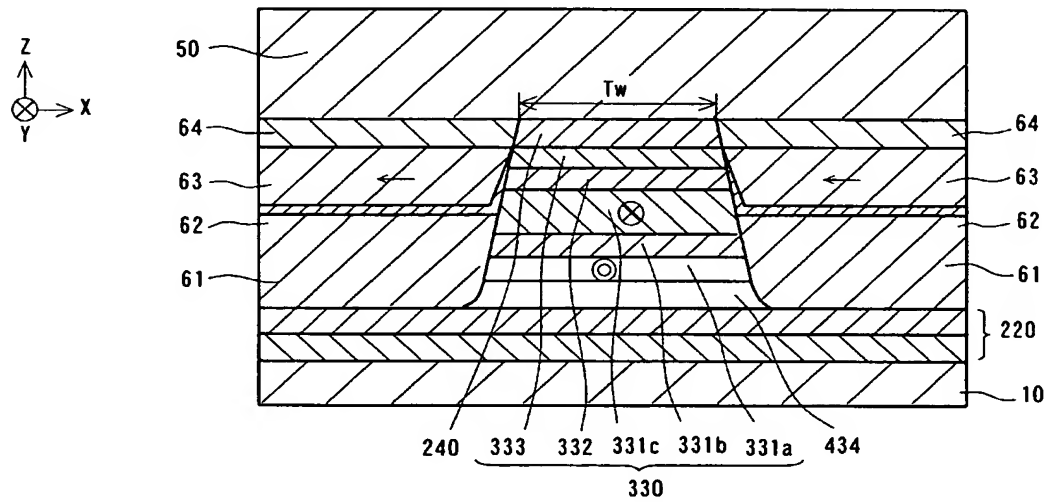
【図 19】



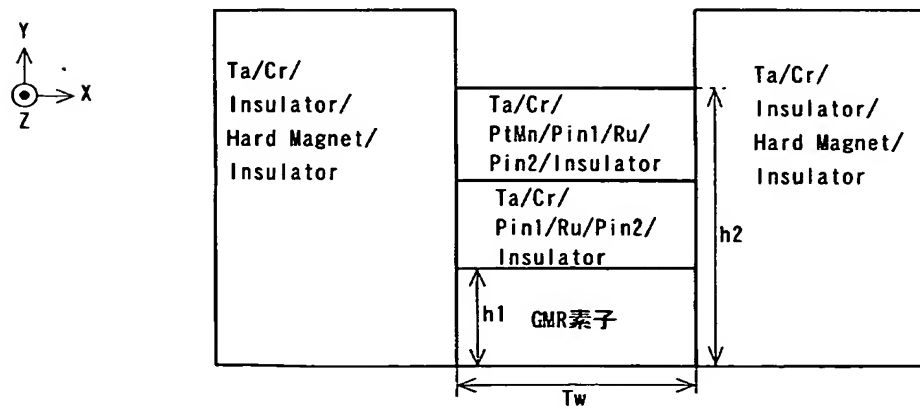
【図 20】



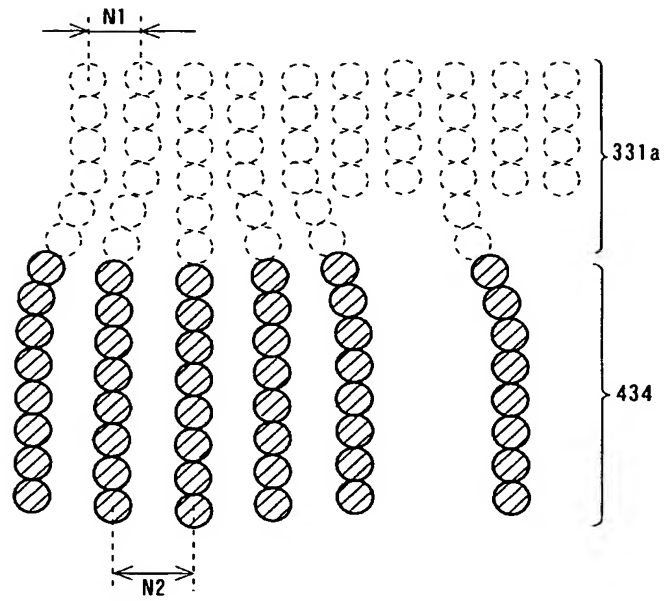
【図 21】



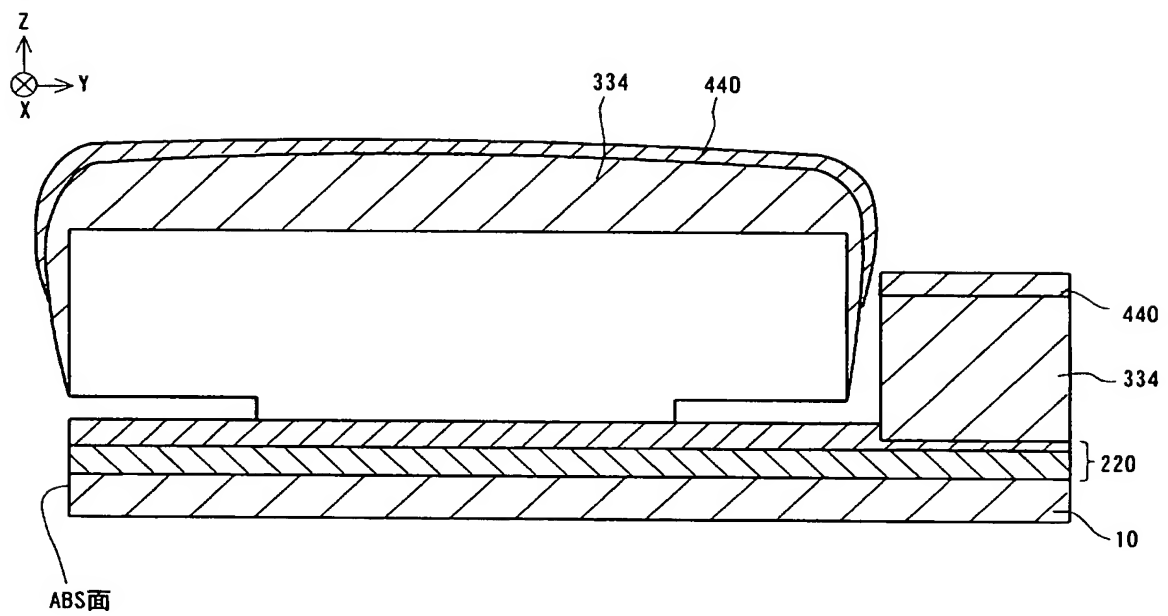
【図 22】



【図 23】

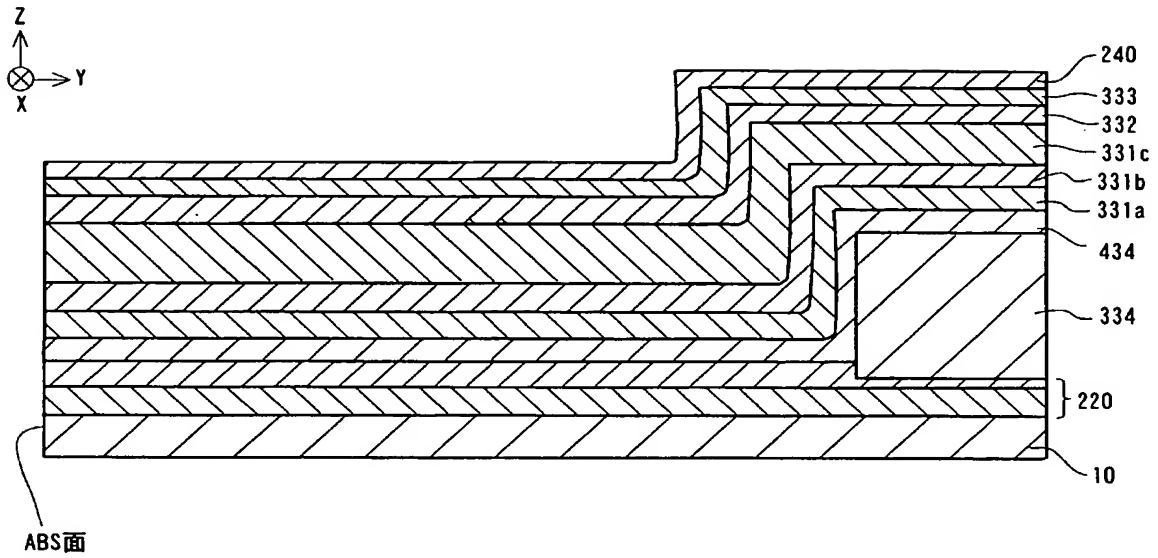


【図 24】

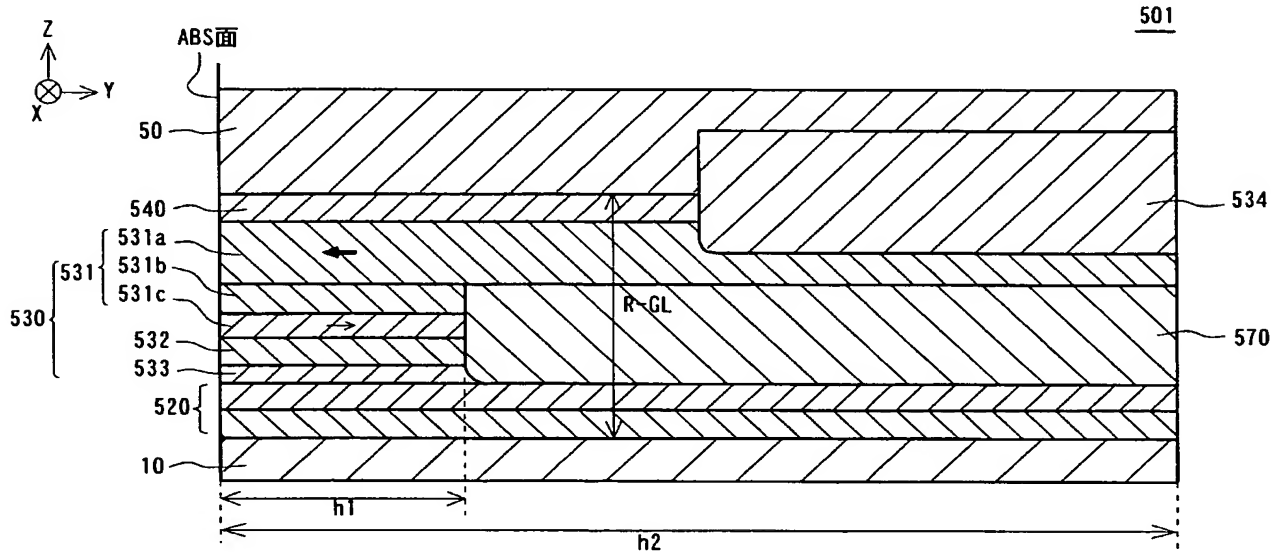




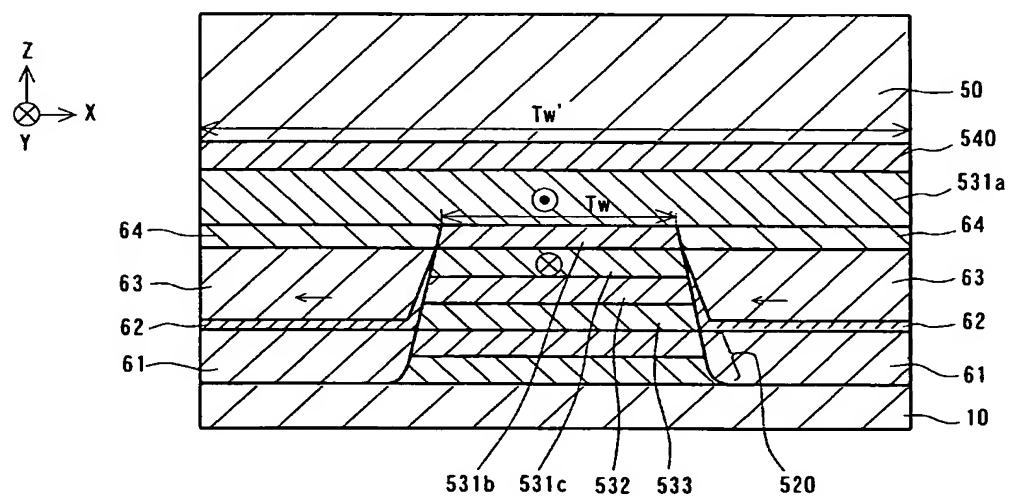
【図 25】



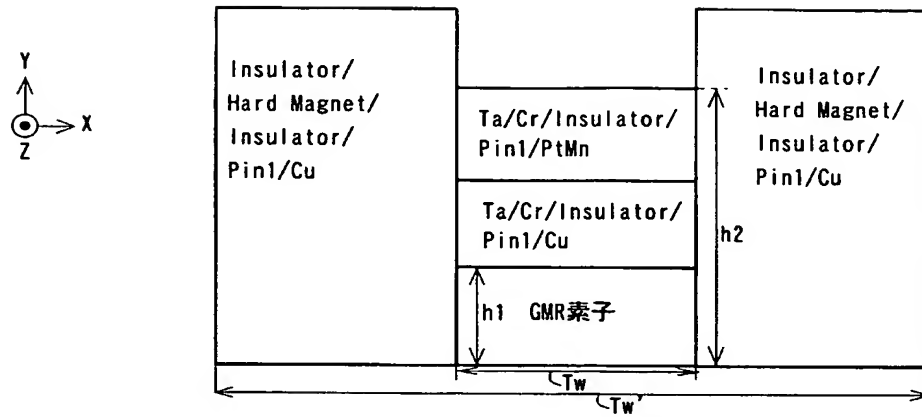
【図 26】



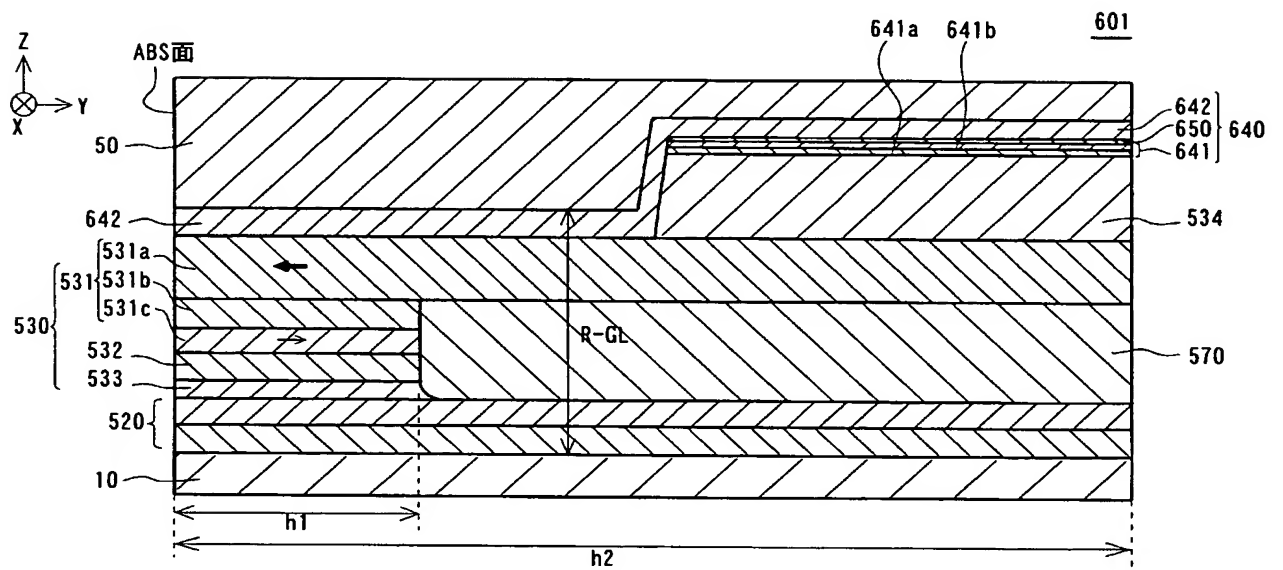
【圖 27】



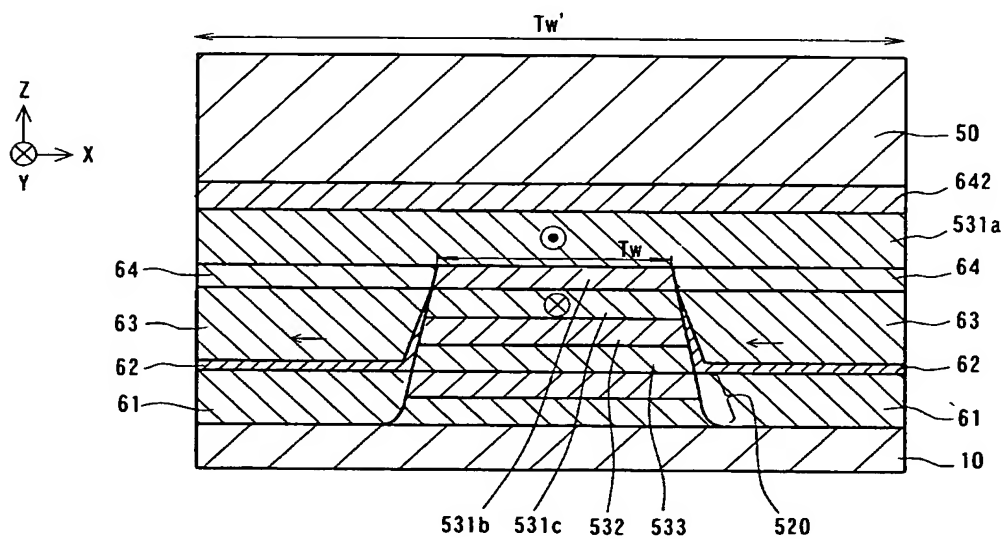
【図 28】



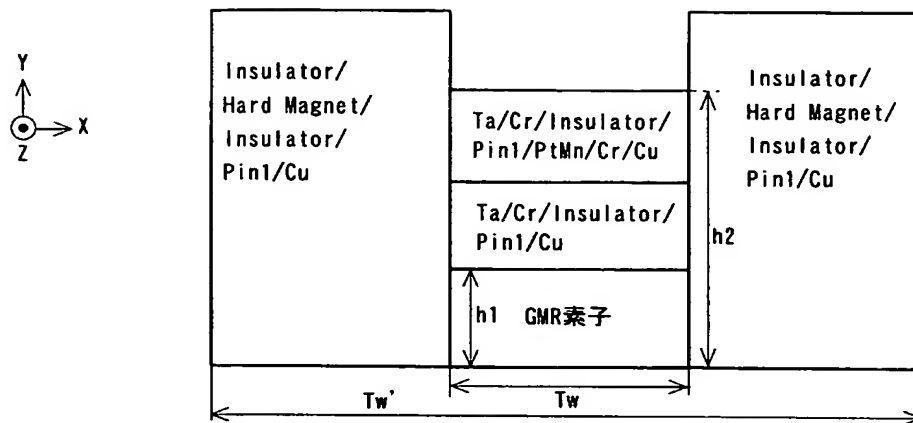
【図 29】



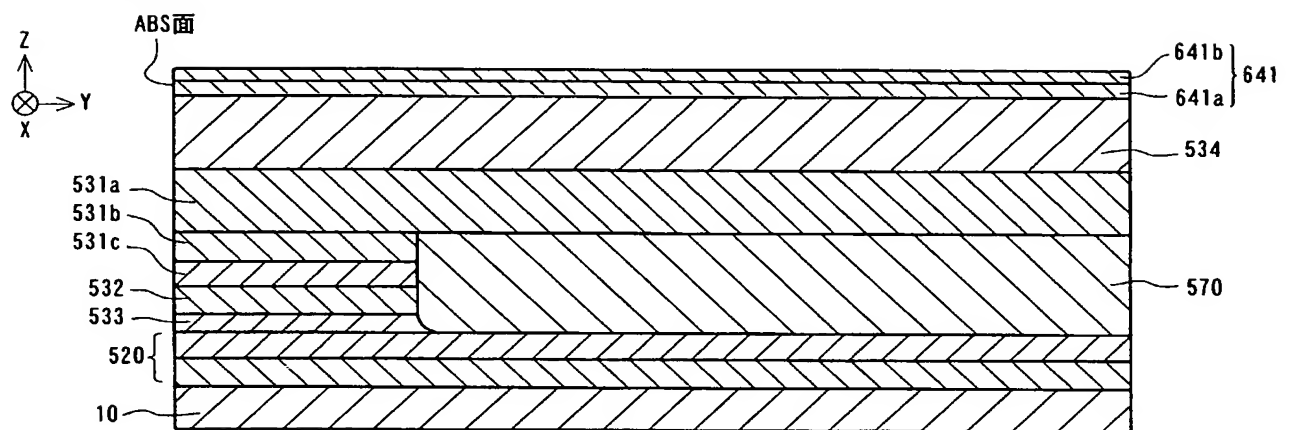
【図 30】



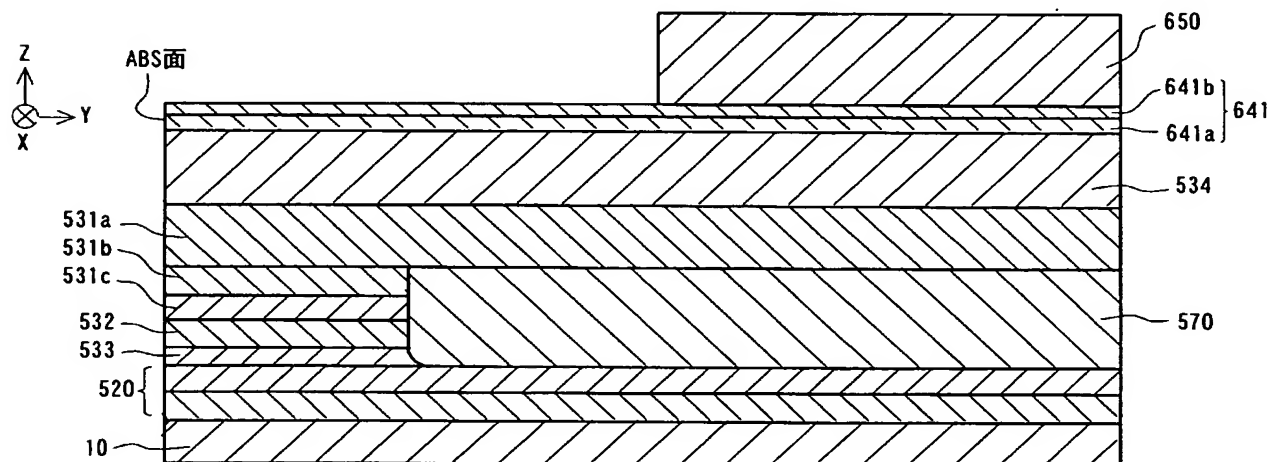
【図 3 1】



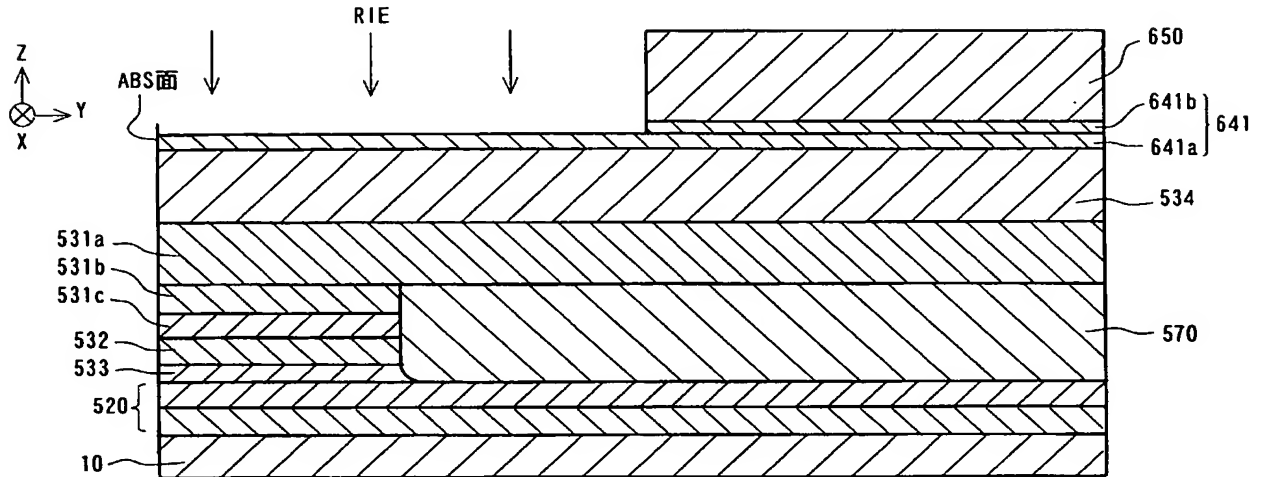
【図 3 2】



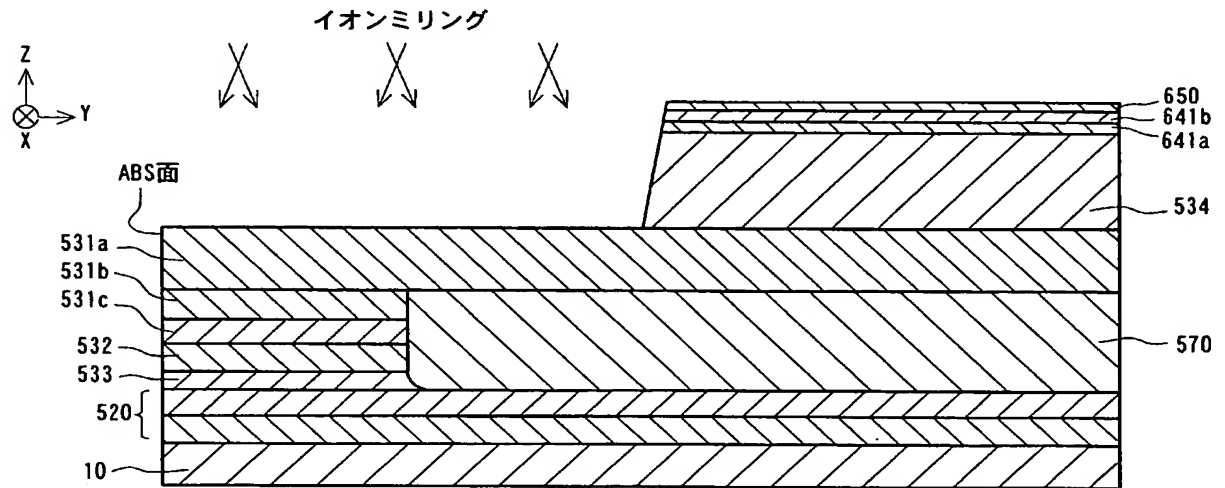
【図 3 3】



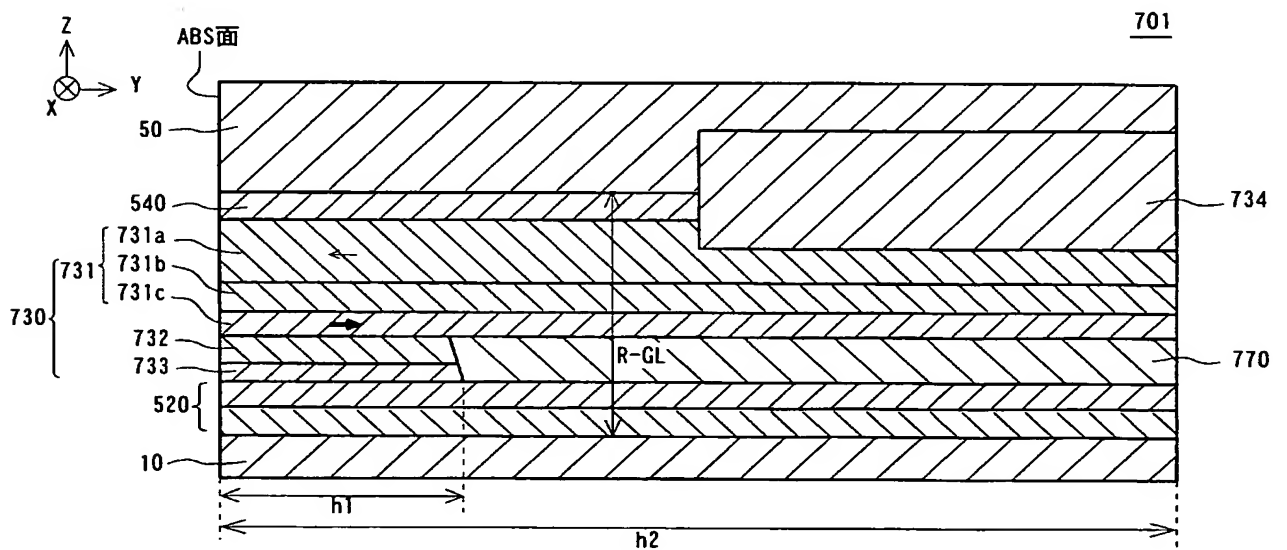
【図 3 4】



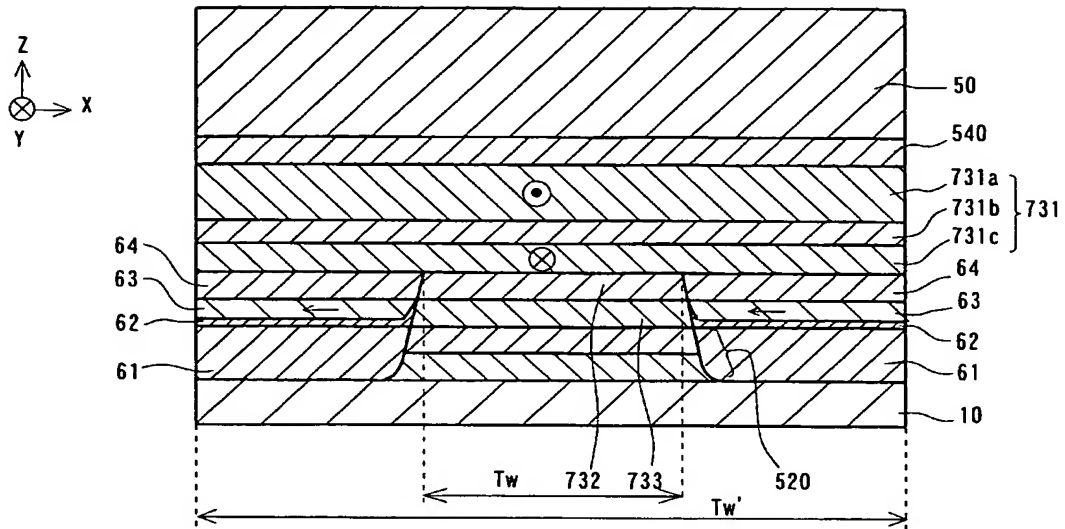
【図 3 5】



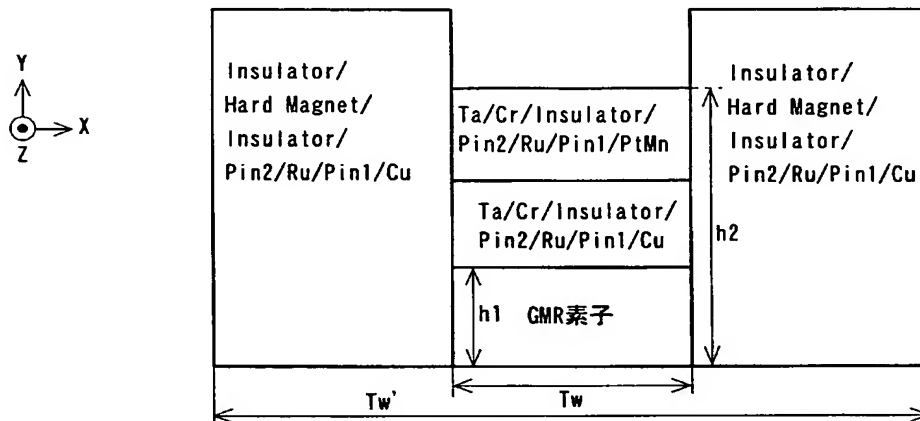
【図 3 6】



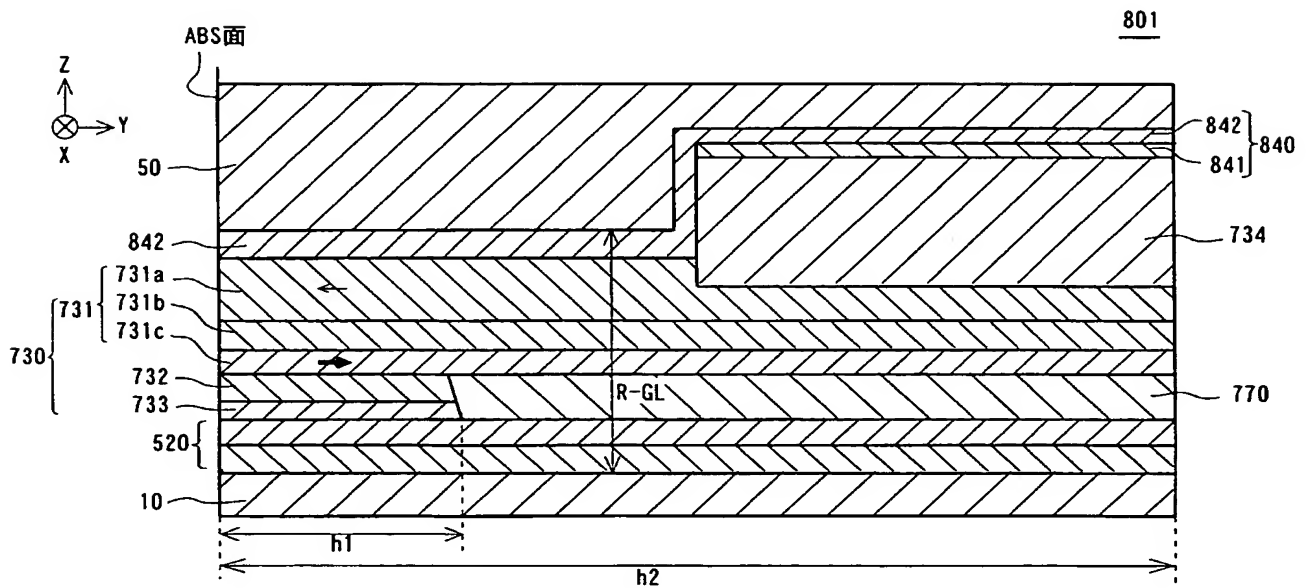
【図 37】



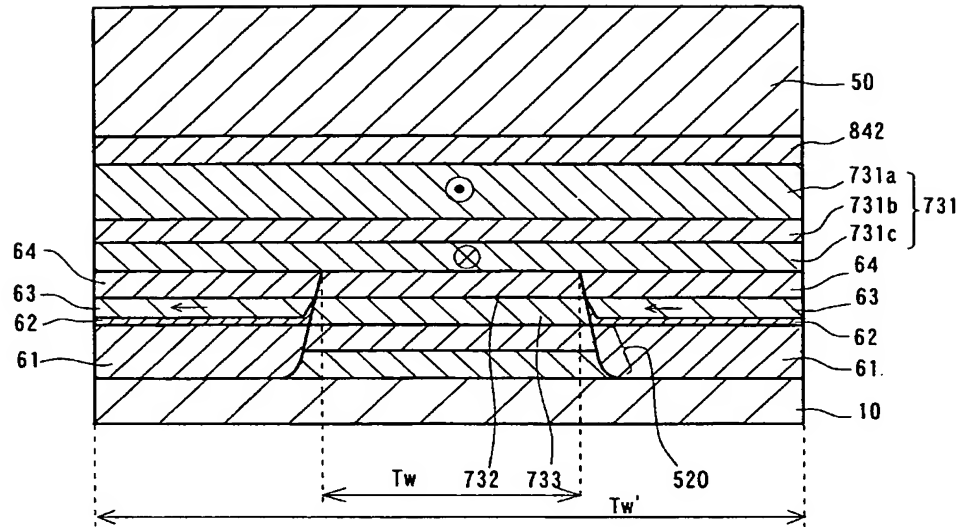
【図 38】



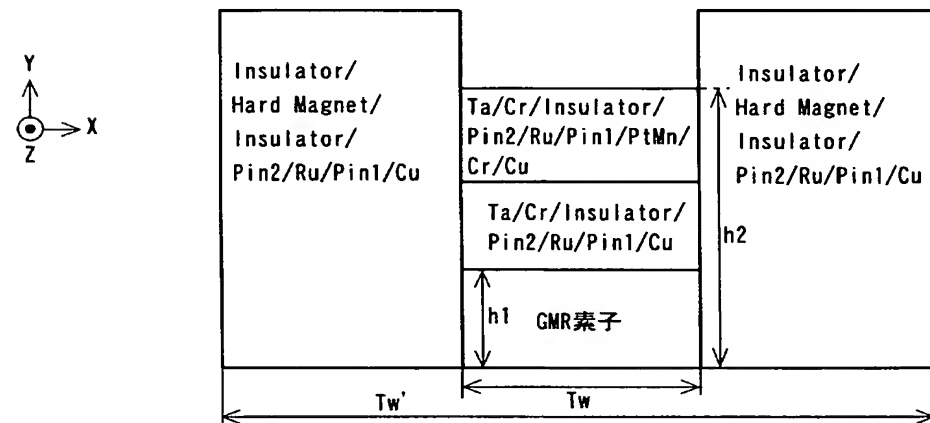
【図 39】



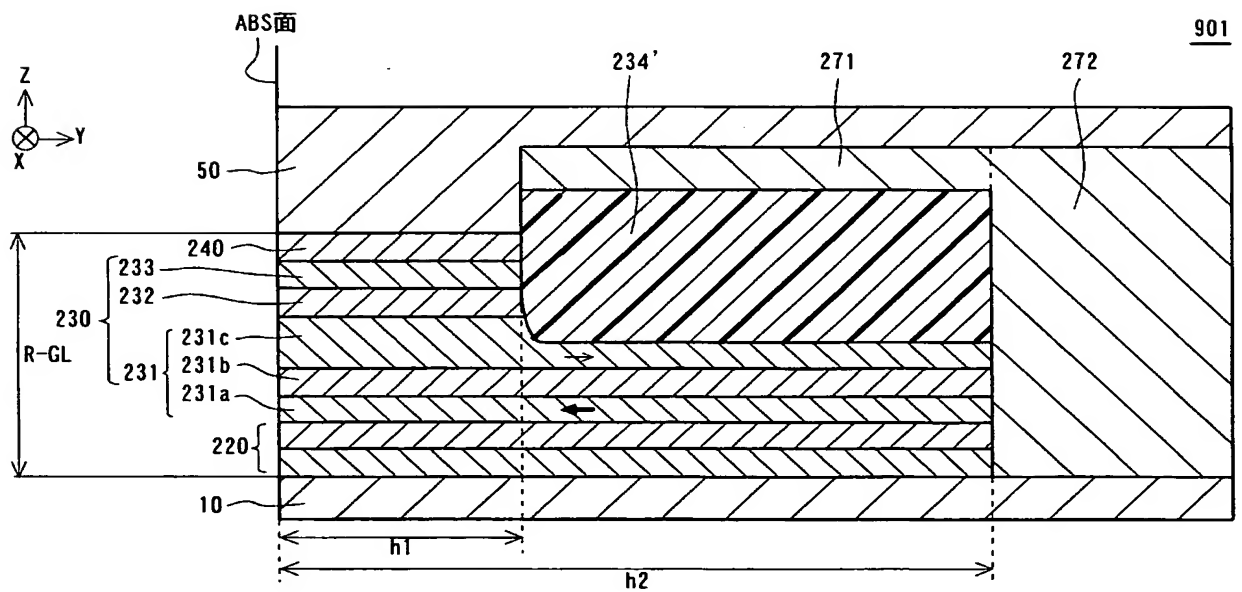
【図 40】



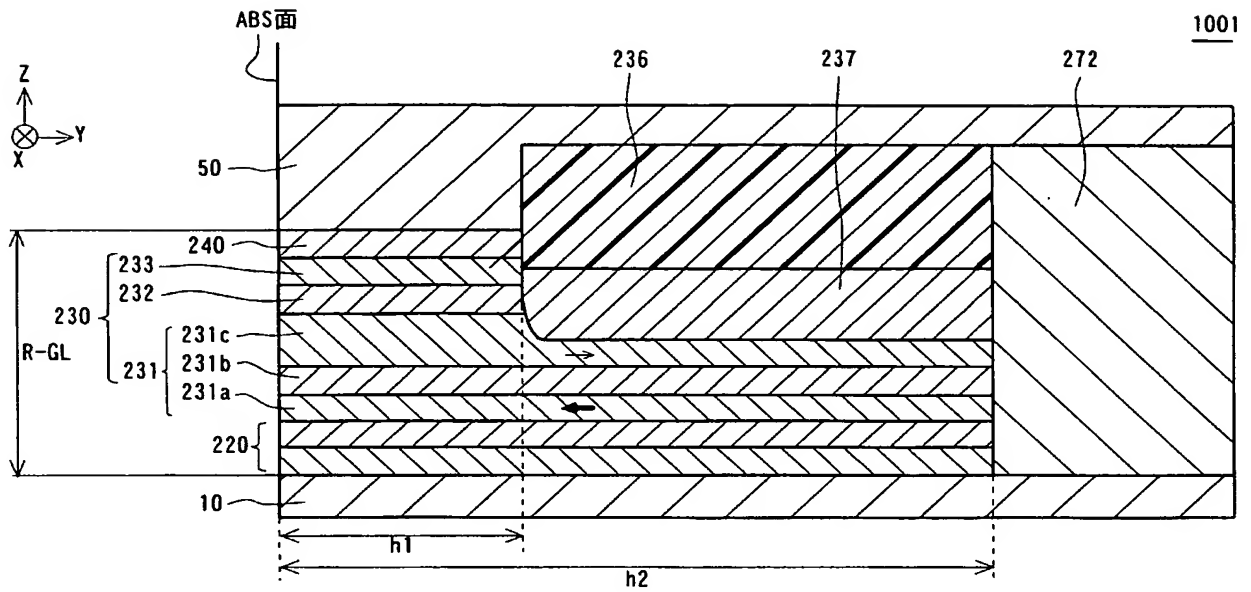
【図 41】



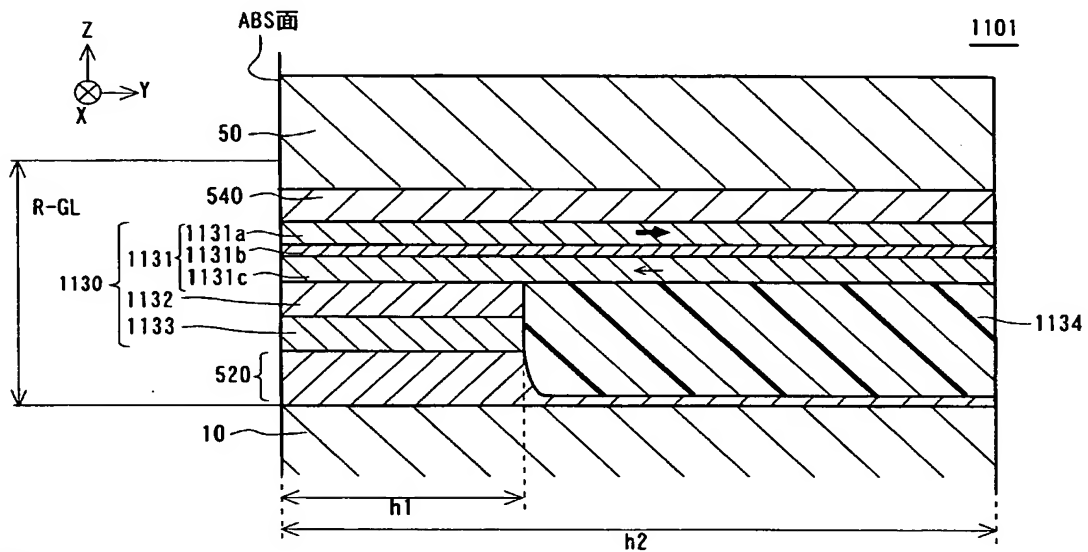
【図 42】



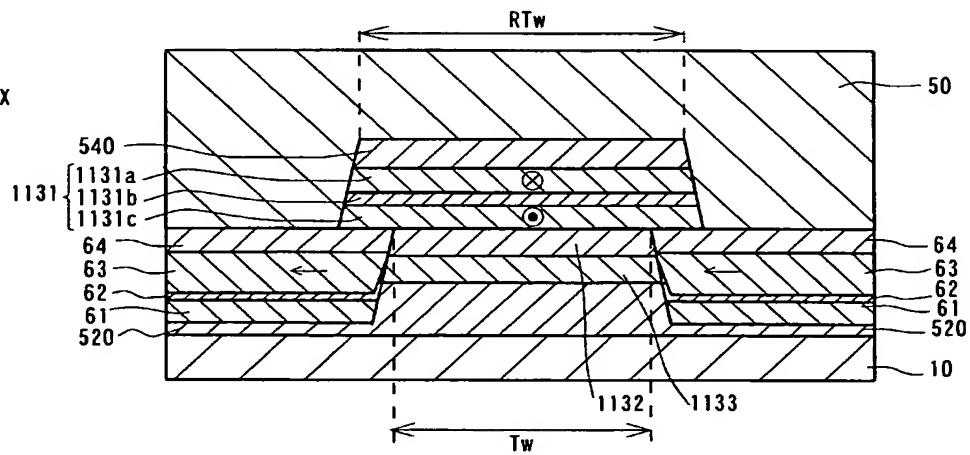
【図 4 3】



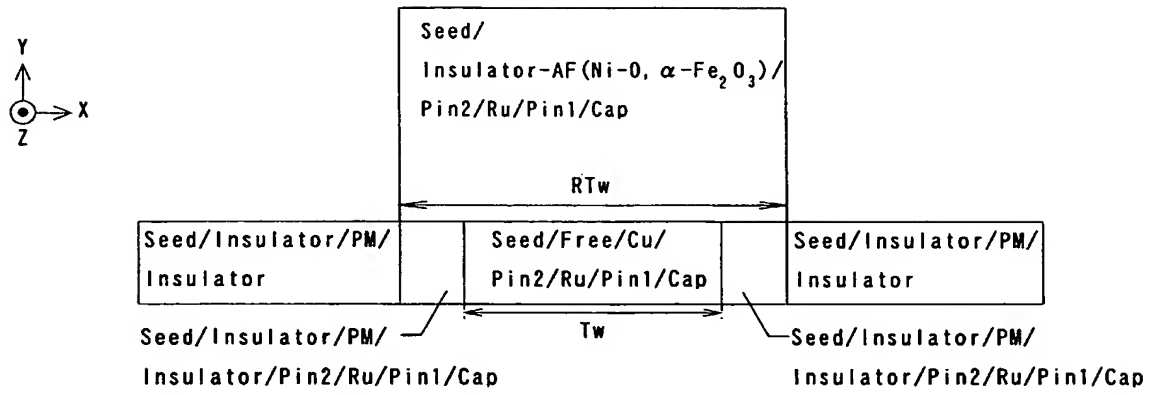
【図 4 4】



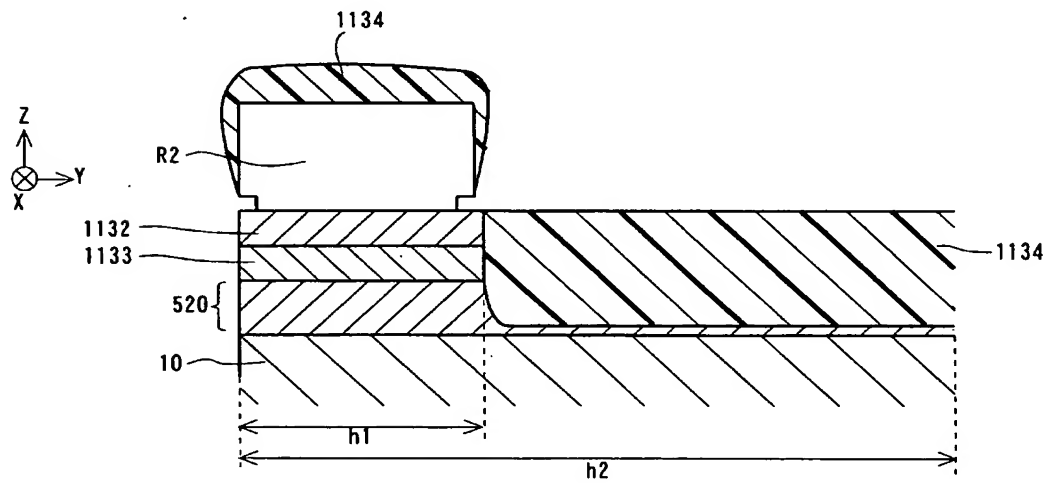
【図 4 5】



【図 4 6】

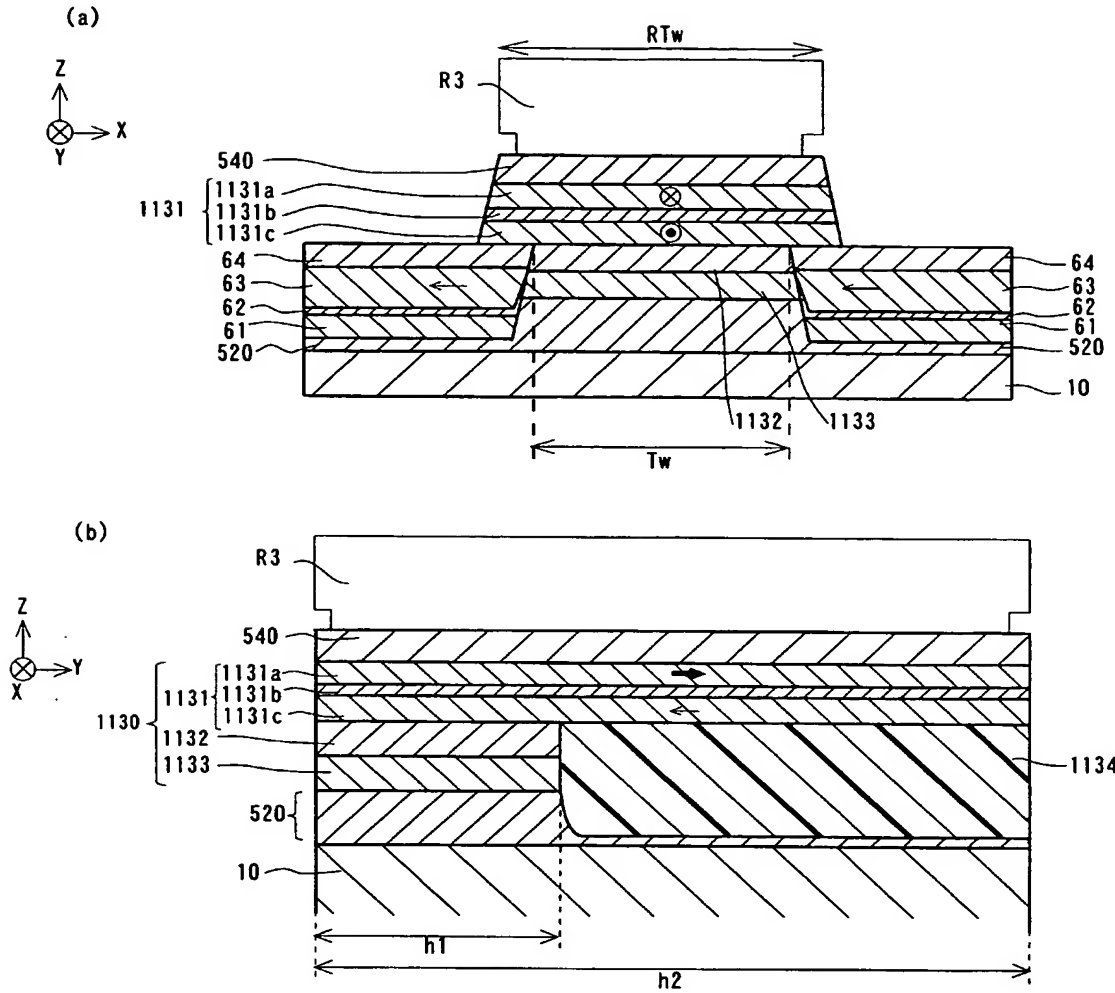


【図 4 7】

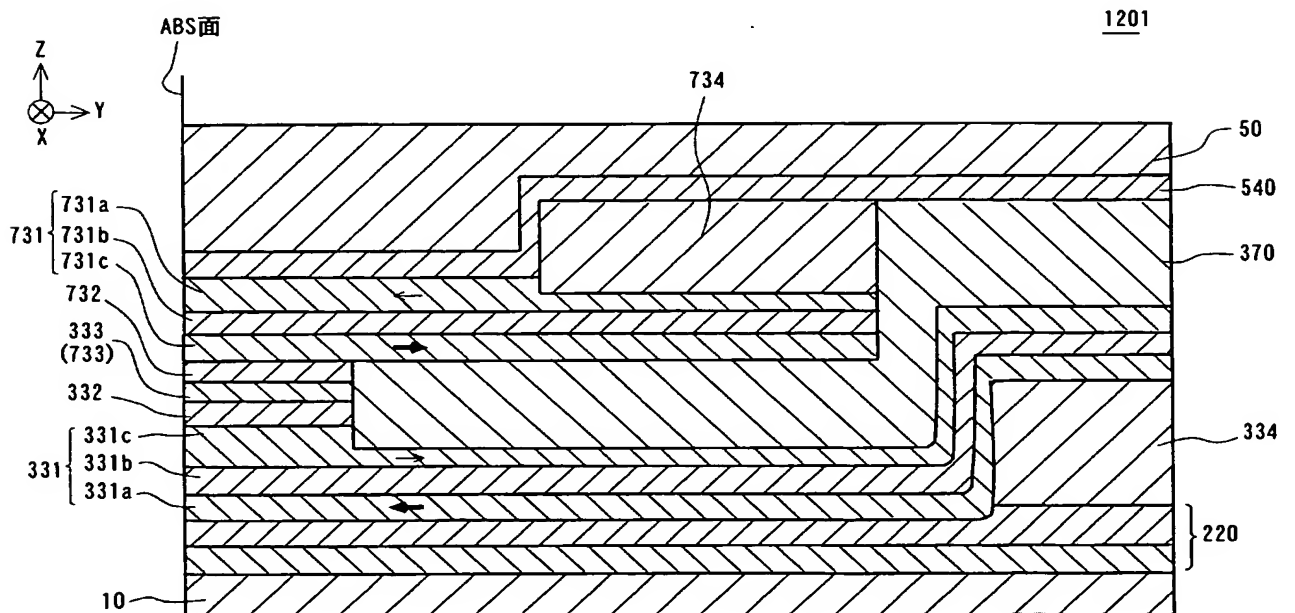




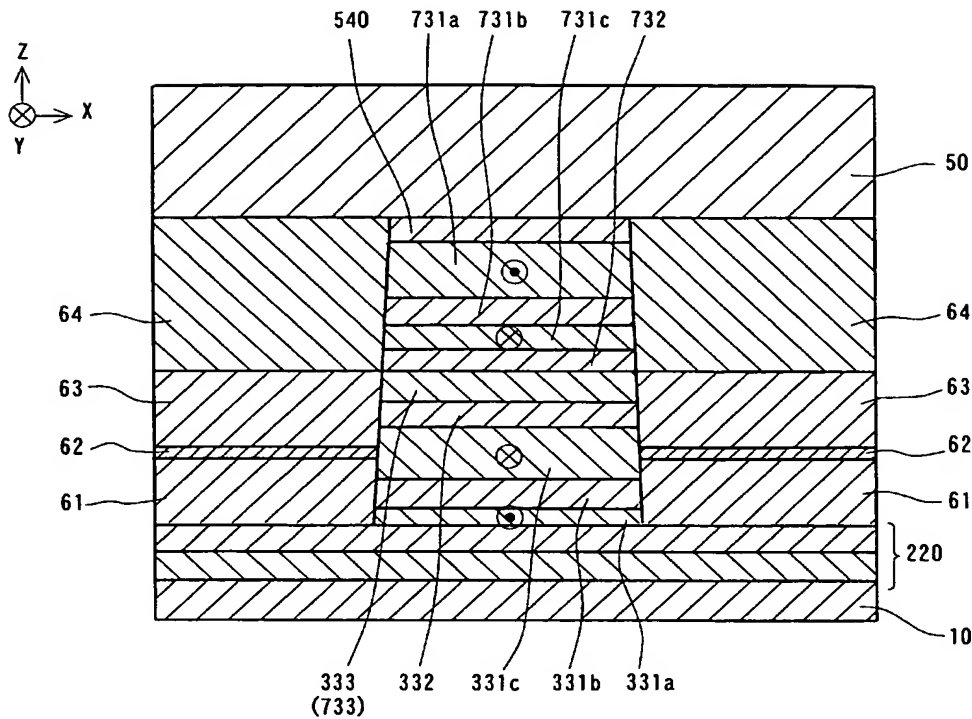
【図 48】



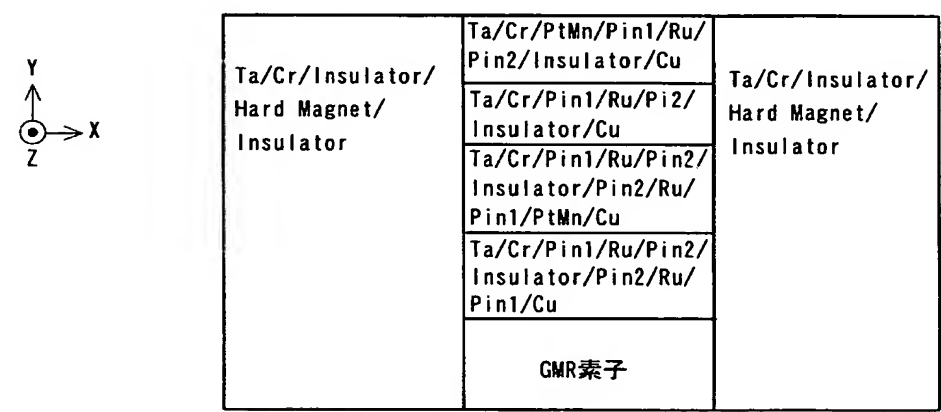
【図 49】



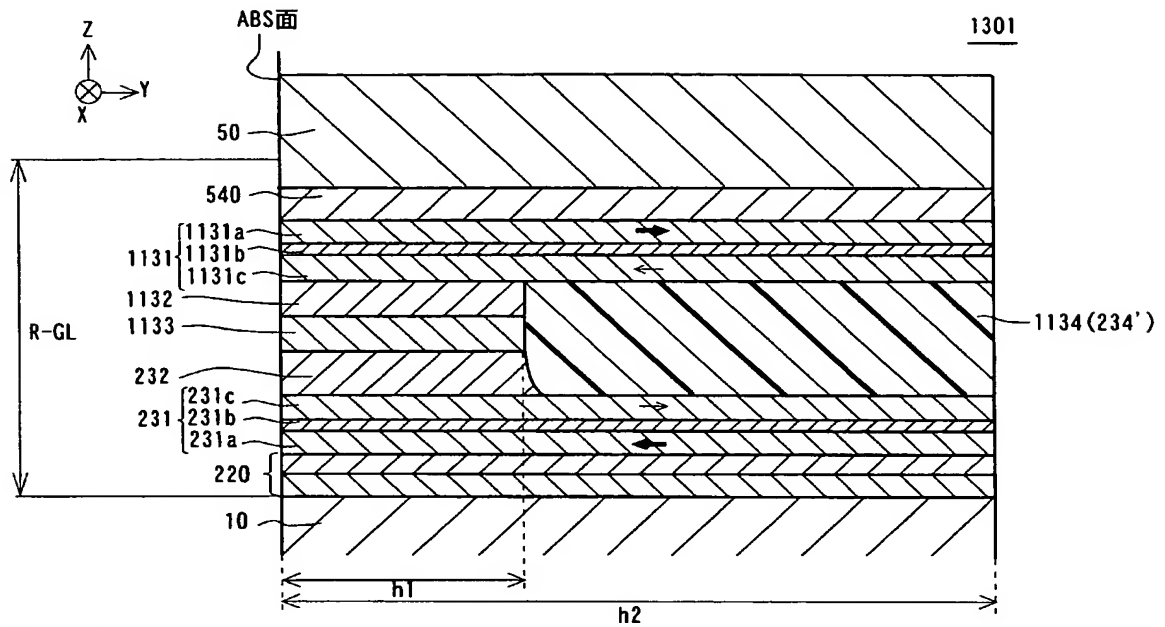
【図 5 0】



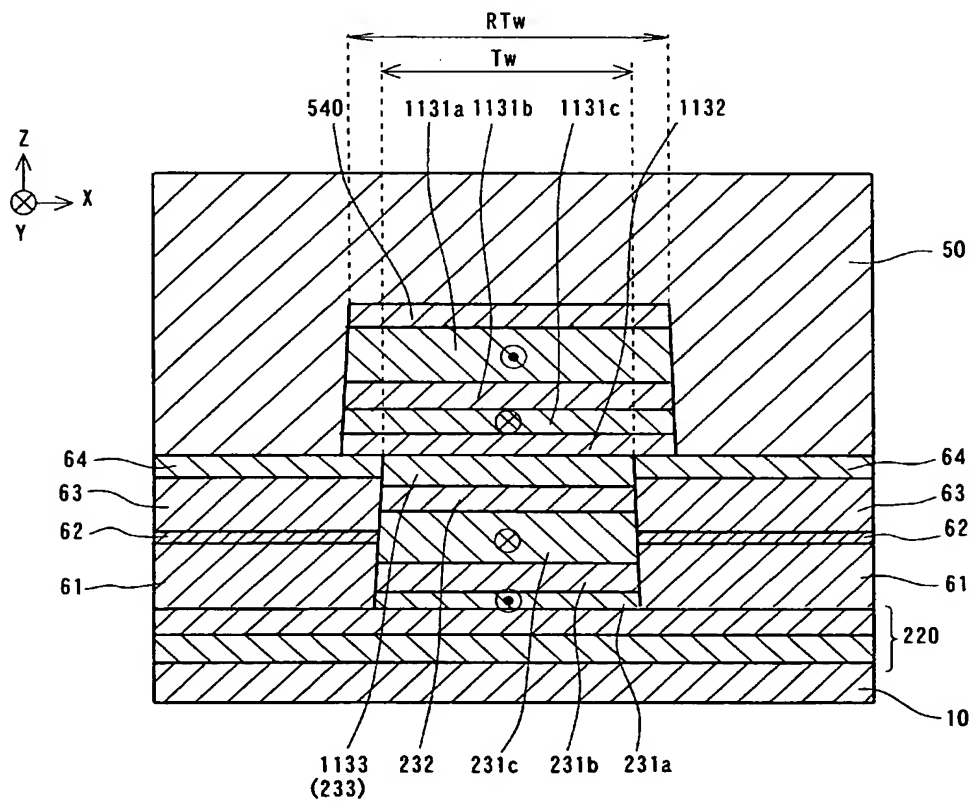
【図 5 1】



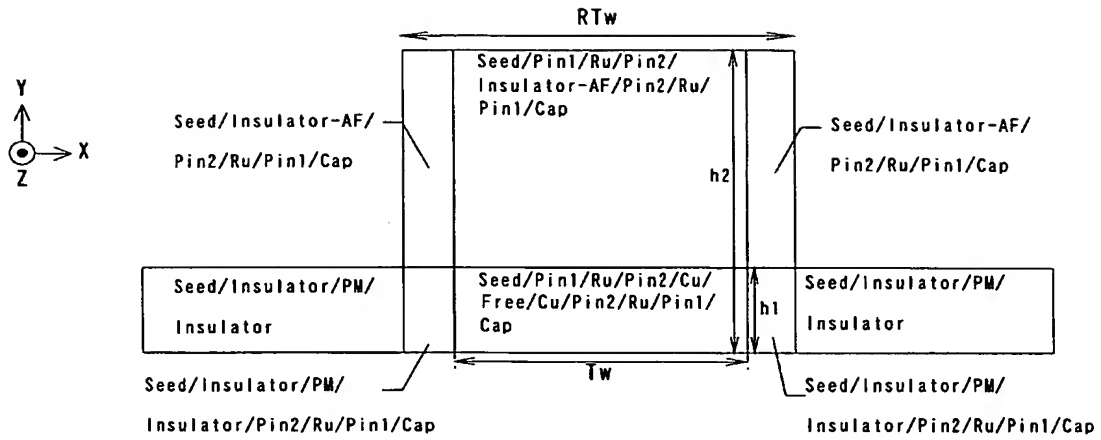
【図 5 2】



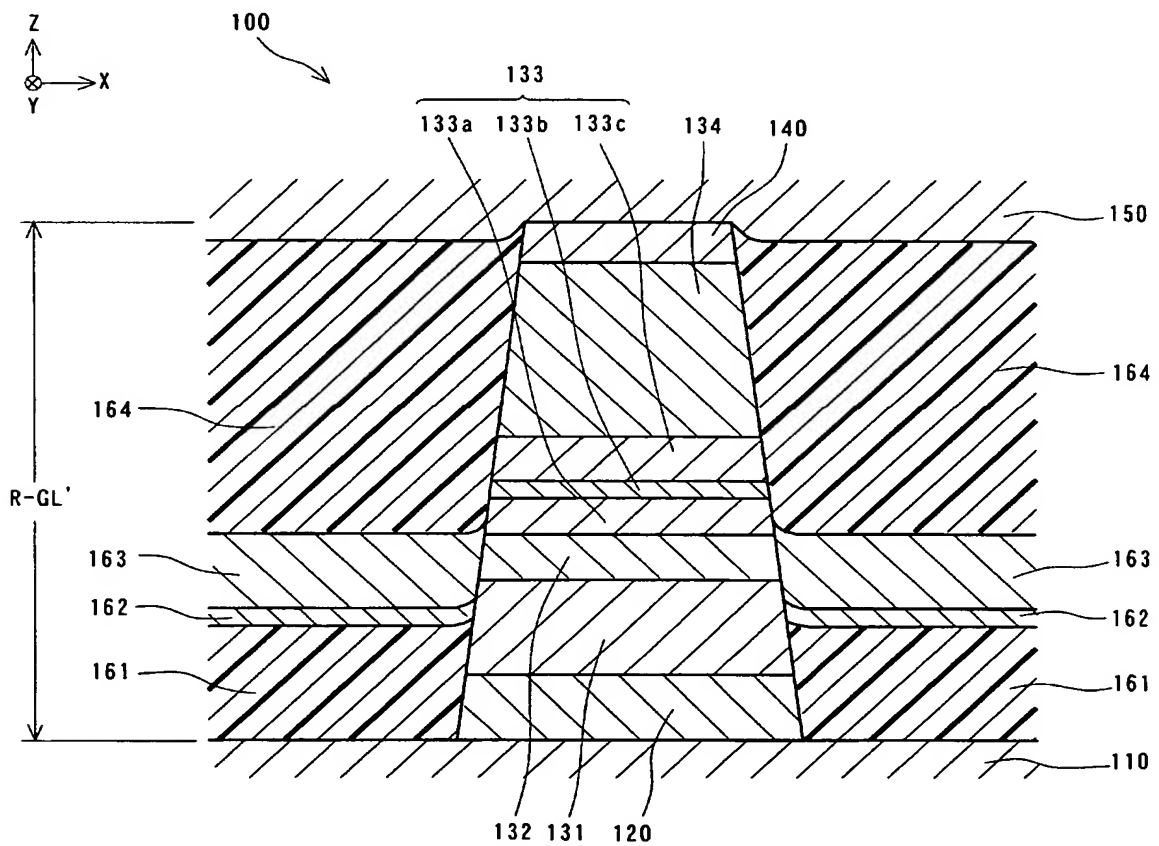
【図 5 3】



【図 54】



【図 55】



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 ジュール熱を低減しつつ、固定磁性層の磁化を強固に固定して高出力が得られる C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドを得る。

【解決手段】 下部シールド層と上部シールド層と、該上下のシールド層間に挿入される、非磁性材料層を介して積層された固定磁性層とフリー磁性層を有する巨大磁気抵抗効果素子とを備え、この巨大磁気抵抗効果素子の膜面に直交する方向に電流が流れる C P P 型巨大磁気抵抗効果ヘッドにおいて、巨大磁気抵抗素子よりもハイト方向奥側に、該ハイト方向奥側に延びた固定磁性層の上面又は下面に接触して該上面又は下面との界面に交換結合磁界を発生させ、この交換結合磁界により固定磁性層の磁化方向を固定する反強磁性層を設ける。反強磁性層には、N i O 又は  $\alpha$ -F e<sub>2</sub>O<sub>3</sub> により形成された絶縁反強磁性層を用いる。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 4 - 0 4 7 7 5 6
受付番号	5 0 4 0 0 2 9 3 9 1 5
書類名	特許願
担当官	第八担当上席 0 0 9 7
作成日	平成 1 6 年 2 月 2 7 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成16年 2月24日
-------	-------------

特願 2 0 0 4 - 0 4 7 7 5 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 1 0 0 9 8 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 7 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区雪谷大塚町 1 番 7 号

氏 名

アルプス電気株式会社